młody TECHNIK
Istnieje od 1932 roku

CHERCHEZ LA FEMME: Mária Telkes
Dwie i pół zimy bez pieca

listopad • 11/2026
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



KOSMOS

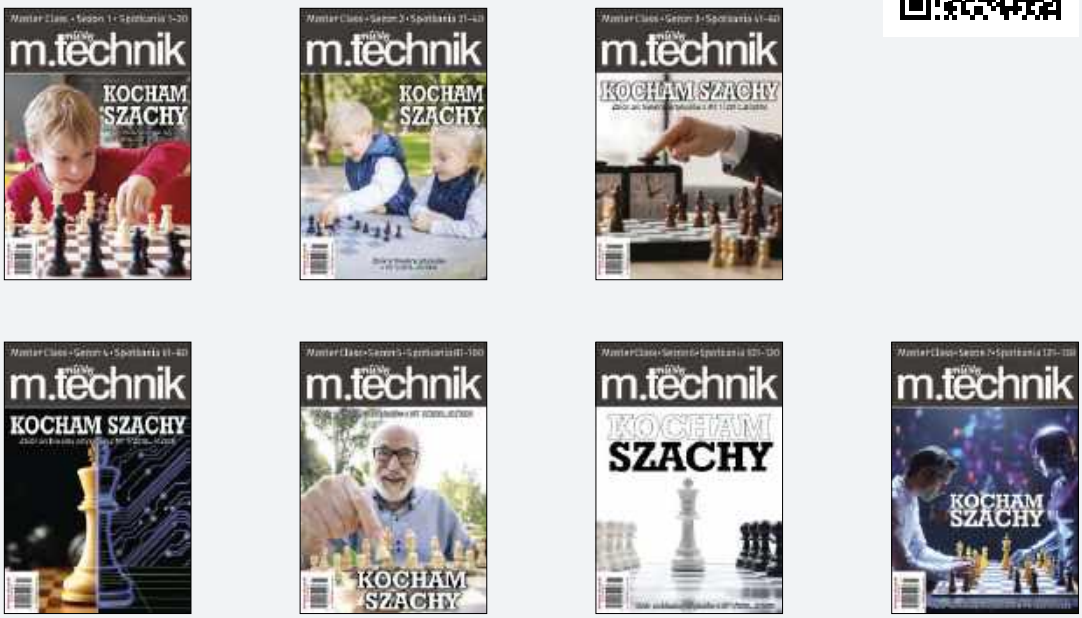
RZECZ POSPOLITA WSZYSTKICH NARODÓW

ISSN 0462–9760 Indeks 365408

cena: **19,90 zł** (w tym 8% VAT)

Science fiction w „Młodym Techniku”
Magdalena Banduła: Zasadzka

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



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

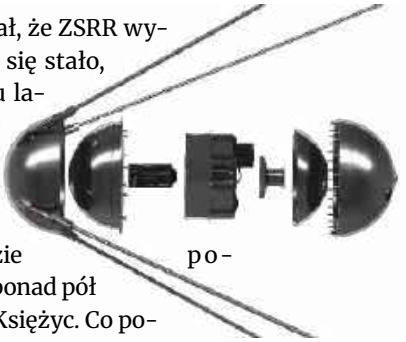


Dla prenumeratorów – 30% rabatu!
Promocja Internetowa – w formularzu zamówienia online zaznacz pole
„Jestem prenumeratorem wydawnictwa AVT, kupuję ze zniżką”
i podaj swój numer prenumeraty.

www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 360946405d

Co poszło nie tak?



Byłem w dziewiątej klasie, gdy świat ze zdumieniem usłyszał, że ZSRR wystrzelił satelitę Ziemi. W mojej klasie konsternacja – jak to się stało, że Ruscy wyprzedzili naszą uwielbianą Amerykę! A po paru latach Gagarin, Tierieszkowa. Masakra! W 1969 roku wszystko wróciło na swoje miejsca. Amerykanie polecieli na Księżyc i stało się jasne, kto wygrał prestiżowy wyścig kosmiczny. Lot na Księżyc zaledwie dwanaście lat po pierwszym sputniku! Tempo było oszałamiające. Wtedy byliśmy pewni, że ludzie polecą na Marsa za kolejnych dziesięć, dwadzieścia lat. A minęło ponad pół wieku i zamiast lotów na Marsa snujemy plany o powrocie na Księżyc. Co poszło nie tak?

Nie byliśmy w tym przekonaniu odosobnieni i nie było ono naiwne. Dwa tygodnie po lądowaniu Apollo 11 Wernher von Braun przedstawił w NASA plan wyprawy załogowej na Marsa: start w grudniu 1981 roku, lądowanie w 1982. Dokument z tej narady istnieje i można go dziś przeczytać. Nikt wtedy nie uważał tego za fantazję.

Odpowiedź na pytanie, co poszło nie tak, ma dwie części i pierwsza jest łatwa. Apollo nie był programem technicznym, tylko politycznym, i finansowano go tak, jak finansuje się wojnę. W 1966 roku NASA dostawała 4,41 procent całego budżetu federalnego Stanów Zjednoczonych. W 2025 roku – około 0,35 procent, czyli ponad dwunastokrotnie mniej. Kiedy zniknął powód polityczny, zniknęły pieniądze. To tłumaczy, dlaczego przestaliśmy latać na Księżyc. Nie tłumaczy jednak, dlaczego przez ponad pięćdziesiąt lat nie polecieliśmy na Marsa.

Druga część odpowiedzi jest trudniejsza i to ona jest właściwie tematem tego numeru. Mars nie jest dalszym Księżycem. Na Księżyc leci się trzy doby i w razie kłopotu przy odrobinie szczęścia można wrócić – Apollo 13 wrócił. Na Marsa leci się najoszczędniejszym torem dwieście pięćdziesiąt dziewięć dób i zawrócić się nie da, bo planety zdążyły się rozejść. Sama droga tam i z powrotem daje załodze około 660 milisiwertów promieniowania, podczas gdy norma NASA dopuszcza 600 na całą karierę zawodową. Na powierzchni Marsa umiemy dziś posadzić około tony, a statek załogowy to dziesiątki ton. Paliwo na powrót trzeba wytworzyć na miejscu i najlepszy dotąd wynik – uzyskany przez przyrząd na pokładzie łazika Perseverance – to dwanaście gramów tlenu na godzinę. Potrzeba ton.

Żadnej z tych rzeczy nie da się załatwić pieniędzmi wydanymi w pośpiechu ani decyzją polityczną. I właśnie dlatego powrót na Księżyc, który z perspektywy 1969 roku nie wygląda na cel ambitny, a raczej na krok wstecz, krokiem wstecz nie jest. Jest stanowiskiem badawczym. Noc księżycowa trwa trzysta pięćdziesiąt cztery godziny i trzeba nauczyć się ją przetrwać, zanim pomyśli się o zimie na Marsie. Tlen wytwarzany z gruntu, tankowanie statku na orbicie, osłona przed promieniowaniem – wszystkiego tego lepiej próbować trzy doby od domu niż dziewięć miesięcy.

Jest jednak rzecz, która zmieniła się od 1957 roku bardziej niż tempo i która wtedy nikomu z nas nie przyszłaby do głowy. Tamten wyścig był sprawą dwóch państw i my w klasie kibicowaliśmy jednemu z nich. Dziś własnego satelitę na orbicie ma ponad sto państw. To już nie jest wyścig dwóch, tylko praca wielu – każdego na swoim poziomie i każdego inaczej. Stąd tytuł tego tematu numeru, którego nie należy czytać jako uprzejmego zdania o tym, że kosmos należy do wszystkich. To jest stwierdzenie, które da się sprawdzić, i na następnych stronach je sprawdzamy.

Na koniec to, o co mi w tym wszystkim najbardziej chodzi. Sputnika nie zbudowało państwo – zbudowało go kilkuset inżynierów, z których każdy kiedyś chodził do dziewiątej klasy. Przyrządy, które dziś pracują na Marsie i w kosmosie, też projektują ludzie, a nie mocarstwa; mocarstwa za nie jedynie płacą. Kilka takich przyrządów zbudowano w naszym kraju. Nie widzę żadnego powodu, dla którego następnych nie mieliby zbudować ci, którzy ten numer czytają.

Wiesław Marciniak

eprasa.pl 360946405d



Prenumerata
Z RABATEM 15% tylko na
UlubionyKiosk.pl

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 3609464050

Spis treści







Temat numeru: Kosmos. Rzecz Pospolita wszystkich narodów

Od państw dwóch do stu dwóch. Sygnał, który usłyszał cały świat....30
Elementarz: dlaczego lot w kosmos jest trudny....34
Czym się tam leci: rakiety i napędy 2026....44
Orbita, z której korzystasz codziennie....52
Człowiek na orbicie....61
Księżyc i Mars....67
Roboty i nauka....76
Ciemna strona orbity....81
Mapa świata....86
Polska....89

B&R – badania i rozwój

Info Zoom....8
Dodaj do obserwowanych....12
Horyzonty mgłą spowite: Wtyczka do mózgu. Ilu ludzi naprawdę ją ma i co nią robi....13
Cherchez la femme: Dwie i pół zimy bez pieca. Czego nie wybaczono Márii Telkes....22
Nasi idole – liderzy innowacji: Dwadzieścia tysięcy jenów – Shuji Nakamura....95
Koniec i co dalej: Koniec prawa Moore'a. Co się naprawdę skończyło....102

m.technik

Cyfrowy front: Nie o pornografię tu chodzi....109
Mobilne aplikacje. Test aplikacji....112

Fantastyka naukowa w „Młodym Techniku"

Zasadzka....114

Szkoła

Chemia inna niż w szkole: Chemiczna Nagroda Nobla, część 2....120
MT studiuje: Lotnictwo i kosmonautyka....124
Jak to odkryli?
Czy Japończycy wytworzą kosmiczne pola magnetyczne na Ziemi?....127
Matematyka z ludzką twarzą: Nasze eliptyczne bezpieczeństwo....131
Fizyka bez granic: Gwiezdne wojny pod lupą fizyka, część 1....138
Klub i Szkoła Wynalazców....142
Na warsztacie: Modelarskie krosna ZPT....148
Pomysły genialne, zwariowane i takie sobie....153
Odkryj historię wynalazków: Windy i dźwigi osobowe....154

Od wydawcy....3
Prenumerata....4
Poczta....6
Sędziwy Technik – 100 lat temu prasa pisała....119

Miesięcznik „Młody Technik" (11 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 360946405d

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**.

Pudełko przy wejściu

Szanowna Redakcjo,

uczę w szkole podstawowej w małym mieście. Po tym, co wydarzyło się na początku października, rada pedagogiczna zebrała się w trybie pilnym i po dwóch godzinach rozmowy wprowadziliśmy jedną rzecz: pudełko na telefony przy wejściu do klasy. Nie jest to pomysł oryginalny ani nasz.

Piszę, bo zaskoczyło mnie co innego niż opór, którego się spodziewałem. Opór był, ale trwał cztery dni. Zaskoczył mnie hałas. Po tygodniu korytarz na dużej przerwie zrobił się głośny tak, jak był głośny, kiedy sam chodziłem do szkoły – bo dzieci zaczęły ze sobą rozmawiać, kłócić się i biegać. Przez ostatnie lata przerwa była cicha i byłem przekonany, że to dobrze o nas świadczy. Pomyślałem sobie, jakie to dziwne, że cieszy mnie hałas na korytarzu...

Adam K.

Czego w archiwum nie ma

Mam siedemdziesiąt jeden lat i po Waszym tekście o archiwum stron internetowych spróbowałem odnaleźć stronę huty, w której przepracowałem trzydzieści lat. Zakład zlikwidowano w 2009 roku, strona zniknęła jeszcze wcześniej.

Znalazłem ją i był to dziwny kwadrans. Działa menu, działają zdjęcia hal, jest nawet lista telefonów wewnętrznych. Nie działa natomiast nic, co trzeba było kliknąć głębiej – galeria z obchodów jubileuszu otwiera się pusta, a formularz kontaktowy wyrzuca błąd. Rozumiem, że to nie jest wina archiwum, tylko sposobu, w jaki te rzeczy były zrobione. Ale chciałbym wiedzieć, czego w takim archiwum nie ma, żeby nie szukać na próżno....

Bolesław S.

Red. Zasada jest prosta: archiwum zapisuje to, co serwer odda zwykłemu odwiedzającemu w chwili odwiedzin. Nie ma więc niczego, co wymagało zalogowania, niczego, co powstawało dopiero po kliknięciu, i niczego, co było przechowywane w bazie danych, a nie w samym pliku strony – galeria otwierająca się pusta to właśnie ten przypadek. Nie ma też stron, których właściciel sobie tego zażyczył, oraz tych, do których robot nigdy nie trafił, bo nikt do nich nie linkował. Praktyczna wskazówka na przyszłość: jeśli natrafi Pan dziś na stronę, która może zniknąć, archiwum ma przycisk zapisania jej na żądanie. Zajmuje to kilkanaście sekund i jest to jedyny moment, w którym ma się na tę sprawę wpływ.

Dlaczego on nie zgaduje

Mam czternaście lat i na wycieczce klasowej próbowałam przez cały dzień oznaczać rośliny programem, który opisaliście w zeszłym numerze. Przy większości wszystko szło gładko, ale przy trawie nad rowem program zatrzymał się na nazwie rodziny i dalej nie poszedł, chociaż czekałam dobrą minutę i przysuwałam telefon ze wszystkich stron.

Koleżanka powiedziała, że to znaczy, że program jest słaby. Mnie się wydaje coś innego, tylko nie umiem tego uzasadnić. Skąd program wie, że nie wie?

Iza Piątkowska

Red. Wie, bo ma to policzone. Taki program nie wskazuje jednej nazwy, tylko wylicza, z jakim prawdopodobieństwem obraz pasuje do każdego gatunku, jaki zna. Potem sprawdza, czy najlepsze dopasowanie wyraźnie odstaje od reszty. Jeżeli odstaje – pokazuje gatunek. Jeżeli pierwsza dziesiątka ma wyniki podobne, a wszystkie te gatunki należą do jednej rodziny, program podaje rodzinę, bo to jest najwęższa odpowiedź, której jest pewien. Trawy są pod tym względem wyjątkowo trudne: różnią się szczegółami kwiatostanu, które trzeba oglądać pod lupą i których na zdjęciu po prostu nie ma. Koleżanka nie ma więc racji – zatrzymanie się na rodzinie jest zaletą, a nie wadą. Program, który w tej sytuacji podałby gatunek, zgadywałby.

Nie odbiorę mu telefonu

Dzień dobry,

jestem matką trzynastolatka i piszę, bo mam dość słuchania, że wystarczy odebrać dziecku telefon. Proszę mi wierzyć, że próbowałam, i proszę mi też wierzyć, że znam wszystkie argumenty.

Rzecz wygląda tak. Klasa mojego syna ma grupę, w której ustala się wszystko: kiedy spotkanie, kto przynosi piłkę, co było zadane, kto z kim siedzi na wycieczce. Dziecko bez telefonu nie jest dzieckiem wolnym od mediów społecznościowych. Jest dzieckiem, które dowiaduje się o wszystkim ostatnie i przestaje być zapraszane, bo zapraszanie go wymaga osobnego wysiłku. Zrobiłam ten eksperyment na dwa tygodnie i skończył się tak, że syn płakał, a ja czułam się jak idiotka.

Nie piszę, że nie ma problemu, bo jest i widzę go co wieczór. Piszę, że rozwiązanie w pojedynkę nie

eprasa.pl 360946405d

istnieje. Gdyby telefony odłożyła cała klasa, byłoby łatwo. Nie da się tego zrobić jednym domem i dlatego tak wielu rodziców, którzy wszystko rozumieją, nic nie robi.

Mama Maksia

Suwak i parabola

Uczę matematyki w liceum od jedenastu lat i po Waszym zestawieniu programów sięgnęłam na lekcji po ten do rysowania wykresów. Zrobiłam dokładnie to, co radzicie: podpięłam współczynnik pod suwak i oddałam telefon uczniowi, który od września nie mógł zrozumieć, co robi liczba przy iksie kwadrat.

Przesuwał ten suwak może dwadzieścia sekund. Potem powiedział: „to ona ściska parabolę”, i od tej pory już wie. Nie powiem, żeby mnie to nie zabolało, bo tłumaczyłam mu to trzy razy i za każdym razem rysowałam trzy wykresy na tablicy.

Jedna uwaga praktyczna dla innych nauczycieli: na telefonie okno jest za małe i część uczniów gubi się między widokiem wykresu a listą działań. Na tablecie albo na komputerze w pracowni rzecz działa bez porównania lepiej....

Pani od matmy

Red. Dziękujemy za tę uwagę i potwierdzamy ją – program jest tą samą aplikacją na wszystkich urządzeniach, ale na ekranie telefonu dwa z pięciu widoków trzeba chować. Warto dodać, że ten sam program działa w przeglądarce bez instalowania czegokolwiek, co w szkolnej pracowni bywa rozstrzygające.

Ścieżka, której już nie ma

Szanowni Państwo,
chodzę po Beskidach od trzydziestu lat i od Waszego zestawienia używam mapy działającej bez zasięgu, o której pisaliście. Rzecz sprawdza się znakomicie i nie mam zamiaru wracać do papieru.

Natknąłem się jednak na coś, czego nie umiem naprawić. Na mapie jest ścieżka, którą zaznaczono chyba dawno temu, a której w terenie nie ma – zarosła tak, że nie sposób tamtędy przejść, i prowadzi w dodatku w stronę urwiska. Spotkałem na niej parę z dzieckiem, która też wracała. Komu to zgłosić?

Jan Sapiński

Red. Do Pana Jana wysłaliśmy list – Sobie, i to jest cała siła tego rozwiązania. Mapa, o której mowa, korzysta z danych OpenStreetMap, czyli projektu prowadzonego przez ochotników na zasadzie zbliżonej do encyklopedii internetowej – każdy może poprawić błąd, ale każdy musi to zrobić pod swoim kontem. Trzeba założyć bezpłatne konto na stronie openstreetmap.org, odnaleźć ten odcinek i albo opisać ścieżkę jako nieprzejezdną, albo usunąć ją z opisem zmiany. Jeżeli nie ma Pan ochoty edytować mapy samodzielnie, prostszą drogą jest zostawienie w tym miejscu uwagi – służy do tego przycisk zgłoszenia błędu, widoczny po zalogowaniu. Ktoś z okolicy to przeczyta. Przy ścieżce prowadzącej w stronę urwiska warto to zrobić w tym tygodniu.

U nas to samo, tylko w szpitalu

Szanowna Redakcjo,
jestem inżynierem utrzymania ruchu w szpitalu powiatowym i czytałem list kolegi, który robił u siebie spis zabezpieczeń kryptograficznych po Waszym temacie numeru. Trzy popołudnia przy dwudziestu komputerach.

U mnie trwa to czwarty miesiąc i nie jest skończone. Komputerów mamy czterysta, do tego aparaty diagnostyczne, pompy infuzyjne, system przyzywowy i sterowniki wentylacji. Z producentami części tych urządzeń kontakt jest, z częścią go nie ma, a jedna firma odpowiedziała, że informacje o zastosowanych zabezpieczeniach stanowią jej tajemnicę handlową.

Nie oczekuję porady, bo wiem, że jej nie ma. Chciałem tylko napisać, że przykład z artykułu nie był przesadzony, i że w szpitalu wygląda to gorzej, niż Państwo napisali.

Zbigniew N.

Przesyłanie plików bez chmury – jedna pułapka

Program do przesyłania plików między telefonem a komputerem, który poleciliście, rozwiązał mi problem, z którym męczyłem się od dwóch lat, bo w domu mamy telefony z Androidem i komputer Apple. Działa tak, jak piszecie: bez konta, bez chmury, z pełną prędkością sieci.

Jedna pułapka, na którą warto uczulić czytelników. W hotelu i w akademiku zwykle nic z tego nie wyjdzie, i nie jest to wina programu. Sieci publiczne są zazwyczaj tak ustawione, że urządzenia w nich nie widzą się nawzajem – każde ma dostęp do internetu i do niczego więcej. Rozwiązanie jest banalne: wystarczy udostępnić internet z jednego telefonu i podłączyć do niego komputer. Wtedy obie maszyny są w jednej małej sieci i przesyłanie rusza natychmiast...

Albert

eprasa.pl 360946405d

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



NAUKA Ilustracja: nobelprize.org

Wiadomość z wnętrza kosmosu: Nobel z fizyki 2026

Tegoroczna Nagroda Nobla z fizyki trafiła do Francisa Halzena z University of Wisconsin–Madison. Królewska Szwedzka Akademia Nauk doceniła jego kluczowy wkład w budowę Obserwatorium Neutrin IceCube na Antarktydzie oraz odkrycie wysokoenergetycznych neutrin pochodzenia astrofizycznego.

IceCube to gigantyczny detektor wtopiony w antarktyczny lód, który rejestruje niezwykle rzadkie oddziaływania przenikliwych cząstek – neutrin. Odkrycia Halzena otworzyły zupełnie nowe okno na Wszechświat, pozwalając badaczom podglądać najbardziej gwałtowne zjawiska kosmiczne, takie jak czarne dziury czy rozbłyski promieniowania gamma. To narodziny nowej ery w astronomii. ■

Międzynarodowy zespół astronomów pod kierownictwem profesora Yuan Weimina z Chińskiej Akademii Nauk (CAS) poinformował o zarejestrowaniu przez satelitę Einstein Probe (EP) niezwykle krótkiego i intensywnego sygnału rentgenowskiego, skatalogowanego jako EP261010a. Zjawisko to, trwające zaledwie 70 sekund, zostało pierwotnie wykryte przez szerokokątny teleskop WXT (*Wide-field X-ray Telescope*). Natychmiastowa automatyczna analiza pozwoliła na skierowanie w stronę źródła czulszego instrumentu FXT (*Follow-up X-ray Telescope*), który dostarczył precyzyjnych danych spektralnych. Obserwacje te potwierdziły istnienie tzw. miękkiego źródła termicznego o charakterystyce ciała doskonałego, co wskazuje na gwałtowny proces fizyczny zachodzący w odległym wszechświecie. Misja Einstein Probe, realizowana we współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną (ESA) oraz Instytutem Fizyki Pozaziemskiej im. Maxa Plancka, od początku 2024 roku skanuje niebo w poszukiwaniu takich właśnie ulotnych zdarzeń wysokoenergetycznych.

Mechanizm stojący za sygnałem EP261010a to najprawdopodobniej breakout fali uderzeniowej (*shock breakout*), czyli moment, w którym fala uderzeniowa z zapadającego się jądra masywnej gwiazdy przebija się przez jej zewnętrzną fotosferę. Gdy jądro gwiazdy kończy życie i zapada się w gwiazdę neutronową lub czarną dziurę, generuje potężny impuls energii pędzący ku powierzchni z prędkością tysięcy kilometrów na sekundę. W chwili dotarcia fali do krawędzi gwiazdy następuje nagły wyrzut promieniowania rentgenowskiego i ultrafioletowego, zanim jeszcze cała struktura obiektu ulegnie widowiskowej dezintegracji w wybuchu supernowej. Można to porównać do błysku towarzyszącego pęknięciu nadmuchanego do granic wytrzymałości balonu – sam rozbłysk trwa ułamek czasu trwania późniejszej eksplozji, ale niesie kluczowe informacje o stanie „powłoki" tuż przed jej zniszczeniem. Niska temperatura zarejestrowanego promieniowania oraz jego termiczny charakter idealnie pasują do modeli teoretycznych opisujących to zjawisko.

Odkrycie to ma fundamentalne znaczenie dla astrofizyki, ponieważ przechwycenie momentu narodzin supernowej jest niezwykle trudne ze względu na krótki czas trwania tego procesu. Dzięki zastosowaniu w satelicie

eprasa.pl 360946405d



KOSMOS

Siedemdziesiąt sekund rentgenowskiego błysku – Einstein Probe rejestruje narodziny supernowej

Einstein Probe nowatorskiej optyki typu „oko homara" (*lobster-eye*), składającej się z tysięcy mikrokanałów skupiających promienie rentgenowskie, naukowcy mogą monitorować ogromne obszary nieba jednocześnie. EP261010a dostarcza badaczom rzadkich danych na temat promienia gwiazdy macierzystej oraz gęstości materii w jej bezpośrednim otoczeniu w ostatnich chwilach przed wybuchem. Pozwala to na weryfikację modeli ewolucji gwiazd i lepsze zrozumienie procesów, które prowadzą do rozsiewania w kosmosie ciężkich pierwiastków, niezbędnych do powstania kolejnych układów planetarnych. Sukces misji potwierdza, że nowa generacja teleskopów rentgenowskich otwiera drogę do systematycznego badania najbardziej dynamicznych i gwałtownych zjawisk we wszechświecie. ■

eprasa.pl 360946405d



INTERNET

Starship na orbicie: 26 satelitów nowej generacji w jednym locie

Trzynaście poprzednich lotów testowych najpotężniejszego systemu nośnego świata, realizowanych od kwietnia 2023 roku, kończyło się na trajektoriach suborbitalnych. Choć konstrukcja była systematycznie udoskonalana, górne stopnie rakiety ulegały zniszczeniu w atmosferze przed wykonaniem pełnego okrążenia Ziemi, co uniemożliwiało wynoszenie rzeczywistych ładunków i ograniczalo testy do weryfikacji parametrów lotu.

Dnia 28 września 2026 roku podczas czternastej misji zintegrowanej górny stopień Ship 41, napędzany silnikami Raptor 3, wszedł na kołową orbitę o wysokości 275 km. Mimo awarii jednego z silników próżniowych podczas wznoszenia, system skompensował deficyt ciągu 19-sekundowym zapłonem jednostki dostosowanej do pracy na poziomie morza. Starship dostarczył na orbitę 26 satelitów Starlink V3. Każdy z nich waży około 2 ton i oferuje przepustowość 1 Tbps, co stanowi dziesięciokrotny wzrost wydajności względem jednostek poprzedniej generacji. Ładunek uwalniano pojedynczo przez boczny mechanizm przypominający dozownik słodyczy w ciągu 30 minut. Po wykonaniu zadania statek deorbitował nad Pacyfikiem, a booster Super Heavy wykonał kontrolowane wodowanie w Zatoce Meksykańskiej.

Udany lot orbitalny zmienia Starshipa z prototypu w operacyjny nośnik zdolny do masowego transportu ciężkiej infrastruktury. Osiągnięcie to przyspieszy budowę globalnej sieci telekomunikacyjnej oraz realizację księżycowego programu Artemis, znacząco redukując koszty wynoszenia ładunków o dużej masie i objętości. ■



ROBOTYKA

Trzynaście silników w czterech palcach

Inżynierowie z Boston Dynamics opracowali nową generację dłoni dla humanoidalnego robota Atlas. Projekt o oznaczeniu GR3 zastępuje wcześniejsze chwytaki, kładąc nacisk na precyzyjną manipulację obiektami oraz sprawne posługiwanie się narzędziami. Zespół kierowany przez Alberto Rodrigueza i Dylana Thrusha zastosował konstrukcję czteropalcową. Rezygnacja z piątego palca pozwoliła ograniczyć masę, zużycie energii i liczbę potencjalnych punktów awarii, przy jednoczesnym zachowaniu pełnej funkcjonalności w środowisku przemysłowym.

Dłoń dysponuje 13 stopniami swobody (DOF), napędzanymi przez identyczne, w pełni enkapsulowane aktuatory bezpośrednie. Wyeliminowanie delikatnych linek na rzecz sztywnych napędów zwiększyło trwałość konstrukcji. Przeciwstawny kciuk o 4 DOF oraz trzy pozostałe palce umożliwiają wykonywanie chwytów szczypcowych i trójpunktowych, a także jednoczesne trzymanie rękojeści i naciskanie spustu narzędzia, np. wiertarki lub pistoletu do gwoździ. Urządzenie wyposażono w czujniki ciśnieniowe na opuszkach oraz przekładnie typu backdrivable, pozwalające na ruch stawów pod wpływem sił zewnętrznych. Taka budowa ułatwia modelowanie dynamiki w symulacjach i przyspiesza rozwój autonomii robota poprzez uczenie przez wzmacnianie (reinforcement learning).

Dzięki udźwigowi przekraczającemu 45 kg, Atlas z dłońmi GR3 może operować ciężkim sprzętem budowlanym i montażowym. Rozwiązanie to przybliża roboty humanoidalne do masowego wdrożenia w fabrykach i centrach logistycznych, gdzie dotychczasowa infrastruktura była dostosowana wyłącznie do manualnych możliwości człowieka. ■

eprasa.pl 360946405d





NAUKA

Ilustracja: nobelprize.org

Tajemnice molekularnego lustra: Nobel z chemii 2026

Tegoroczna Nagroda Nobla w dziedzinie chemii trafiła do dwóch wybitnych badaczy – francuskiego chemika Henriego B. Kagana oraz Japończyka Kenso Soai. Królewska Szwedzka Akademia Nauk uhonorowała ich za przełomowe odkrycia w obszarze asymetrycznej syntezy organicznej, a ściślej za zaobserwowanie i opisanie efektów nieliniowych oraz zjawiska autokatalizy.

Choć brzmi to skomplikowanie, problem dotyka fundamentalnej właściwości materii ożywionej: chiralności. Wiele cząsteczek chemicznych występuje w dwóch formach, które są swoimi lustrzanymi odbiciami – zupełnie jak lewa i prawa dłoń. Choć zbudowane z tych samych atomów, mają często całkowicie odmienne właściwości biologiczne. W farmacji jedna wersja cząsteczki może być skutecznym lekiem, podczas gdy jej lustrzany bliźniak okazuje się bezużyteczny lub wręcz toksyczny.

Henri Kagan wywrócił do góry nogami dotychczasowe podręczniki, wykazując istnienie efektów nieliniowych. Udowodnił, że nieznacznie czysty chiralnie katalizator może prowadzić do powstania niemal idealnie czystego produktu o konkretnej geometrii. Z kolei Kenso Soai odkrył niezwykłą reakcję autokatalityczną, w której cząsteczka potrafi wymusić syntezę własnej formy i potężnie zwielokrotnić jej ilość nawet z minimalnych, początkowych śladów.

Prace tegorocznych laureatów nie tylko dały przemysłowi chemicznemu i farmaceutycznemu precyzyjne narzędzia do bezpiecznej produkcji leków, ale też przybliżają nas do rozwiązania jednej z największych zagadek nauki: dlaczego życie na Ziemi wybrało akurat jedną konkretną „chiralność" tworzących je aminokwasów i cukrów? To triumf chemii podstawowej o ogromnym znaczeniu praktycznym. ■

eprasa.pl 360946405d

Dodaj do obserwowanych

ASTRONOMIA

◆ Zespół z Harvard-Smithsonian zaobserwował za pomocą teleskopu MeerKAT impulsy radiowe pochodzące bezpośrednio z egzoplanety Beta Pictoris b. Sygnał z odległego o 63 lata świetlne globu świadczy o istnieniu pola magnetycznego o sile co najmniej 1,25 kilogausa. To przełomowe odkrycie pozwala po raz pierwszy badać zorze polarne na planecie krążącej wokół innej gwiazdy. ◆ Według analizy danych z archiwów NASA planeta Elias 2-24b ma mniej niż milion lat, co czyni ją najmłodszym znanym światem poza Układem Słonecznym. Obiekt wciąż aktywnie gromadzi materię ze swojego macierzystego dysku pyłowego. Potwierdzenie wieku tego niemowlęcia wśród planet pomoże astronomom zrozumieć najwcześniejsze etapy formowania się systemów gwiezdnych. ◆

FIZYKA

◆ Detektor LUX-ZEPLIN zarejestrował pojedyncze zdarzenie odrzutu o wysokiej energii sięgającej 270 kiloelektronowoltów, co ogłoszono na konferencji TeV Particle Astrophysics. Szansa na błąd statystyczny wynosi zaledwie 1 do 200, więc sygnał może być kluczem do zrozumienia natury ciemnej materii. To najbardziej czułe urządzenie tego typu na świecie dostarczyło właśnie danych, które zweryfikują obecne modele fizyczne.
◆ Zespół z Uniwersytetu Alabamy zidentyfikował w sześciu galaktykach 84 źródła wyjątkowo miękkiego promieniowania rentgenowskiego. Obiekty te emitują niskoenergetyczne promienie X oraz intensywne światło ultrafioletowe, co opisano na łamach Nature Astronomy. Odkrycie może rozwiązać dwie stare zagadki astrofizyczne dotyczące natury gorącego gazu w przestrzeni międzygwiezdnej. ◆

EKSPLORACJA KOSMOSU

◆ Badacze z Uniwersytetu Maryland odkryli amoniak w atmosferze gazowego giganta HATS-6 b za pomocą spektroskopii transmisyjnej teleskopu Jamesa Webba. Planeta oddalona o 500 lat świetlnych okazała się znacznie chłodniejsza, niż przewidywały modele teoretyczne. To dopiero drugi przypadek wykrycia tego związku na egzoplanecie, obok wody, metanu i dwutlenku węgla. ◆

POSZUKIWANIE ŻYCIA

◆ Chiński radioteleskop FAST przeszukał 33 systemy planetarne w poszukiwaniu śladów obcych cywilizacji. Wśród danych wyróżnił się wąskopasmowy sygnał NBS 260108 pochodzący z układu K2-155, oddalonego o 238 lat świetlnych. Choć naukowcy zachowują ostrożność, kandydat na technosygnaturę przeszedł przez wszystkie filtry odsiewające ziemskie zakłócenia. ◆

KOMPUTERY KWANTOWE

◆ Naukowcy opracowali nowatorską metodę identyfikacji splątania wielofotonowych stanów W, co ogłoszono w serwisie ScienceDaily. Sukces ten rozwiązuje problem, z którym fizycy kwantowi zmagali się od 25 lat. Precyzyjne rozpoznawanie tych stanów jest niezbędne do budowy bezpiecznych sieci kwantowych i wydajnej teleportacji informacji między wieloma użytkownikami jednocześnie.
◆ Fizycy wykorzystali 13-jonowy symulator kwantowy do odtworzenia procesów powstawania cząstek, które zachodziły we wczesnym wszechświecie. Eksperyment pozwolił na bezpośrednią obserwację zjawisk fizycznych niemożliwych do zbadania w tradycyjnych akceleratorach. To przełomowe połączenie fizyki cząstek elementarnych z technologią kwantową przybliża nas do zrozumienia pierwszych chwil po Wielkim Wybuchu. ◆

BIOTECHNOLOGIE

◆ Zmodyfikowana genetycznie nerka świni pracowała w organizmie żywego człowieka przez rekordowe 271 dni. Pacjent mógł dzięki temu zrezygnować z dializ na dziewięć miesięcy, co stanowi milowy krok w ksenotransplantologii. Sukces ten potwierdza, że zwierzęce organy mogą stać się bezpiecznym pomostem dla osób oczekujących na ludzki przeszczep. ◆ ■

Źródła: ScienceDaily, Nature, Science, Sci.News, Chandra, MIT Kavli Institute, Center for Astrophysics.
Okres: 3 września 2026 – 1 października 2026.

eprasa.pl 360946405d



Wtyczka do mózgu

Ilu ludzi naprawdę ją ma i co nią robi

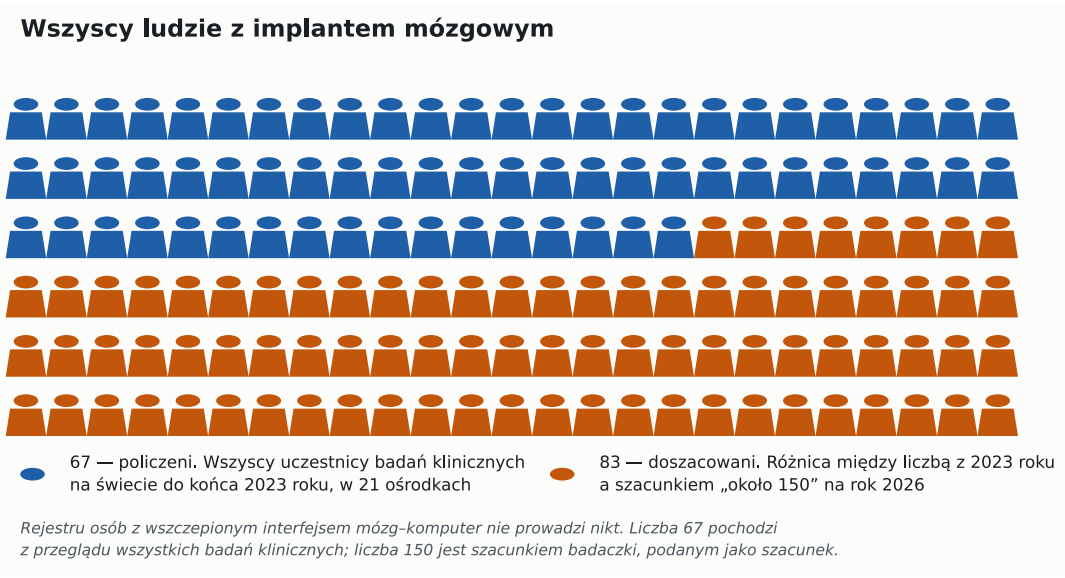
Wszyscy ludzie na świecie, którym kiedykolwiek wszczepiono do mózgu interfejs mózg–komputer, zmieściliby się w jednej szkolnej auli. I to nie w tej dużej.

Liczbę tę ktoś policzył. W przeglądzie ogłoszonym we wrześniu 2024 roku w czasopiśmie „Nature Reviews Bioengineering" zebrano wszystkie badania kliniczne z wszczepianym interfejsem mózg–komputer, jakie na świecie prowadzono od pierwszej operacji tego rodzaju do końca 2023 roku: dwadzieścia jeden ośrodków naukowych i sześćdziesiąt siedem osób, które taki wszczep otrzymały. Sześćdziesiąt siedem osób – mniej niż trzy klasy.

Ile jest ich dziś, dokładnie nie wiadomo, bo nikt nie prowadzi rejestru. W czerwcu 2026 roku „MIT Technology Review" zapytał o to badaczkę zajmującą się tą dziedziną od kilkunastu lat i usłyszał: „Szacowałabym, że około stu pięćdziesięciu". Sto pięćdziesiąt osób w skali całej planety. Tylu uczniów ma niewielka szkoła podstawowa.

To nie jest artykuł o tym, że implanty mózgowe są bujdą. Przeciwnie: w ostatnich trzech latach zmierzono w tej dziedzinie rzeczy, które jeszcze niedawno były domeną powieści. Jest to artykuł o czymś innym – o tym, co dokładnie zmierzono, kto to zmierzył, i czego z tych pomiarów nie wynika. Bo między

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 1. Wszyscy ludzie z implantem mózgowym. Liczba uczestników badań klinicznych – sześćdziesiąt siedem do końca 2023 roku – za przeglądem „The state of clinical trials of implantable brain–computer interfaces", „Nature Reviews Bioengineering", 20 września 2024. Liczba około stu pięćdziesięciu na rok 2026 jest szacunkiem Mariski Vansteensel z Uniwersyteckiego Centrum Medycznego w Utrechcie, podanym w „MIT Technology Review" 19 czerwca 2026 – nie pochodzi z rejestru, bo rejestru nie ma

„dwoje sparaliżowanych ludzi pisze dwadzieścia dwa słowa na minutę samą myślą" a „maszyna czyta w myślach" jest odległość, którą da się wyrazić liczbą. Do tej liczby dojdziemy na końcu.

Kto ma implant i skąd to wiadomo

Zacznijmy od spisu, bo on sam w sobie wiele mówi. Nie chodzi tylko o to, ile osób ma implant w każdym z programów – chodzi o to, skąd tę liczbę znamy.

Najdłużej działający program nazywa się BrainGate i prowadzą go wspólnie amerykańskie uniwersytety i szpitale. W styczniu 2023 roku ogłosił w czasopiśmie „Neurology" zestawienie bezpieczeństwa obejmujące czternaście osób z wszczepionym urządzeniem w latach 2004–2021. To jest publikacja recenzowana: zanim się ukazała, czytali ją niezależni specjaliści, a dane da się sprawdzić.

Firma Synchron wszczepiła czworgu ludziom urządzenie o szesnastu elektrodach, wprowadzane nie przez otwór w czaszce, lecz przez żyłę szyjną; wyniki ogłoszono w 2023 roku w „JAMA Neurology" – znowu czasopismo recenzowane. Kolejnym sześciorgu wszczepiła je w badaniu, którego wyniki podała we wrześniu 2024 roku komunikatem prasowym i wystąpieniem na zjeździe neurochirurgów. W żadnym czasopiśmie ich do dziś nie ma.

Firma Neuralink, ta najgłośniejsza (od Elona Maska), podała w styczniu 2026 roku, za pośrednictwem agencji Reutera, że ma dwadzieścia jeden osób zapisanych do badań na całym świecie. Liczba dwadzieścia jeden pada w tym artykule drugi raz i za każdym razem znaczy co innego: przed chwilą były to ośrodki naukowe w przeglądzie, tu są to osoby w badaniach jednej firmy. Warto też przeczytać to zdanie dokładnie: „zapisanych", a nie „z wszczepionym urządzeniem", i „w styczniu", a nie „dziś". Nowszej liczby z wiarygodnego źródła nie znalazłem.

I rzecz najważniejsza w tym spisie. Piątego października 2025 roku agencja Bloomberga podała, że Neuralink złożył do „The New England Journal of Medicine" – jednego z najpoważniejszych czasopism medycznych świata – pierwszą pracę z danymi trojga swoich pacjentów. W chwili, gdy piszę te słowa, jedenaście miesięcy później, praca ta nie została ogłoszona. Nie ukazała się też żadna inna recenzowana publikacja opisująca kliniczne wyniki tej firmy. Wszystko, co o tych dwudziestu jeden osobach wiadomo, pochodzi od Neuralinku.

eprasa.pl 360946405d

Do spisu dochodzą jeszcze dwa wpisy z 2026 roku. Siedemnastego czerwca szpital uniwersytecki w Michigan ogłosił pierwsze na świecie trwałe wszczepienie bezprzewodowego urządzenia firmy Paradromics, mającego czterysta dwadzieścia jeden elektrod. Jedna osoba, obserwacja zaplanowana na sześć lat. A w marcu 2026 roku chiński urząd rejestracji wyrobów medycznych dopuścił do obrotu handlowego implant o nazwie NEO – i było to pierwsze na świecie dopuszczenie wszczepianego interfejsu mózg–komputer do użytku poza badaniem klinicznym.

Dwadzieścia dwa słowa na minutę

Teraz to, co tych sto pięćdziesiąt osób robi za pomocą implantów – i tu trzeba oddać sprawiedliwość, bo wynik z marca 2026 roku jest znakomity.

Szesnastego marca 2026 roku zespół BrainGate ogłosił w „Nature Neuroscience" pracę o przywróceniu szybkiego pisania na klawiaturze dwiema rękami. Dwoje uczestników – jedna osoba ze stwardnieniem zanikowym bocznym, druga po urazie rdzenia kręgowego – pisało tekst, próbując poruszać palcami. Palce się nie poruszały; ruszała się tylko kora ruchowa, a sześć matryc po sześćdziesiąt cztery elektrody, czyli trzysta osiemdziesiąt cztery elektrody razem, odczytywało zamiar. Wynik: sto dziesięć znaków na minutę, czyli dwadzieścia dwa słowa na minutę, przy błędzie na poziomie jednego i sześciu dziesiątych procenta. Do ustawienia układu wystarczyło trzydzieści zdań wzorcowych.

Dwadzieścia dwa słowa na minutę to mniej więcej jedna trzecia tempa wprawnej maszynistki i jedna siódma tempa swobodnej rozmowy. Ale porównanie z maszynistką jest nie na miejscu. Właściwe porównanie brzmi tak: osoba, która nie może poruszyć palcem, porozumiewa się dziś najczęściej za pomocą śledzenia wzroku albo tablicy z literami wskazywanymi przez opiekuna, i schodzi wtedy do kilku słów na minutę – przy dobrym dniu, dobrym oświetleniu i cierpliwym rozmówcy. Dwadzieścia dwa słowa na minutę przy błędzie jednego i sześciu dziesiątych procenta to dla takiej osoby zmiana kategorii, a nie stopnia.

Tylko że – i tu zaczyna się właściwy temat tego artykułu – ta sama technika, w tym samym roku, w tych samych laboratoriach, daje wynik blisko trzydziestokrotnie gorszy, gdy postawić jej odrobinę inne zadanie.

Dlaczego mowa jest trudniejsza od pisania

Jeśli implant potrafi odczytać z kory ruchowej zamiar poruszenia palcem, powinien tak samo odczytać zamiar poruszenia językiem



eprasa.pl 360946405d

Cztery wyniki, cztery różne miary

Co układ robi	Szybkość	Błąd	Słownik	Kiedy podaje wynik
Pisze na klawiaturze „Nature Neuroscience", 2026	22 słowa na minutę	1,6 %	tekst dowolny	po zdaniu
Zamienia próbę mówienia na tekst „Nature", 2023	62 słowa na minutę	9,1 % 23,8 %	50 słów 125 000 słów	po zdaniu
To samo, w użyciu domowym „N. Engl. J. Med.", 2024	przez 248 godzin	2,5 %	mowa swobodna	po zdaniu
Zamienia próbę mówienia na głos „Nature", 2025	na bieżąco	43,6 %	mowa swobodna	po 10 ms

Układ, który czeka do końca zdania, może swoje przypuszczenia poprawić modelem języka. Układ, który odzywa się po dziesięciu milisekundach, nie może — i dlatego myli się prawie w co drugim wyrazie.

Rysunek 2. Cztery wyniki, cztery różne miary. Zestawienie opracowane w redakcji na podstawie czterech prac recenzowanych; pełne dane w notach redakcyjnych. Zwraca uwagę, że żadne dwa wyniki nie są mierzone tak samo – inny jest słownik, inne opóźnienie i inne zadanie. Dlatego zestawiono je obok siebie, a nie na jednym wykresie

i wargami – a wtedy zamiast pisać, mógłby mówić. Mówienie jest przecież szybsze i naturalniejsze. Próbowano tego i wyniki są pouczające.

W 2023 roku w „Nature" ogłoszono układ, który odczytywał próbę mówienia z prędkością sześćdziesięciu dwóch słów na minutę. Przy słowniku ograniczonym do pięćdziesięciu słów mylił się w dziewięciu na sto wyrazach. Przy słowniku stu dwudziestu pięciu tysięcy słów – w niecałych dwudziestu czterech na sto. Rok później w „The New England Journal of Medicine" opisano układ, który przez dwieście czterdzieści osiem godzin rzeczywistego używania utrzymał poprawność dziewięćdziesięciu siedmiu i pół procenta, przy czym uczestnik przed wszczepieniem był rozumiany przez ludzi z trudem.

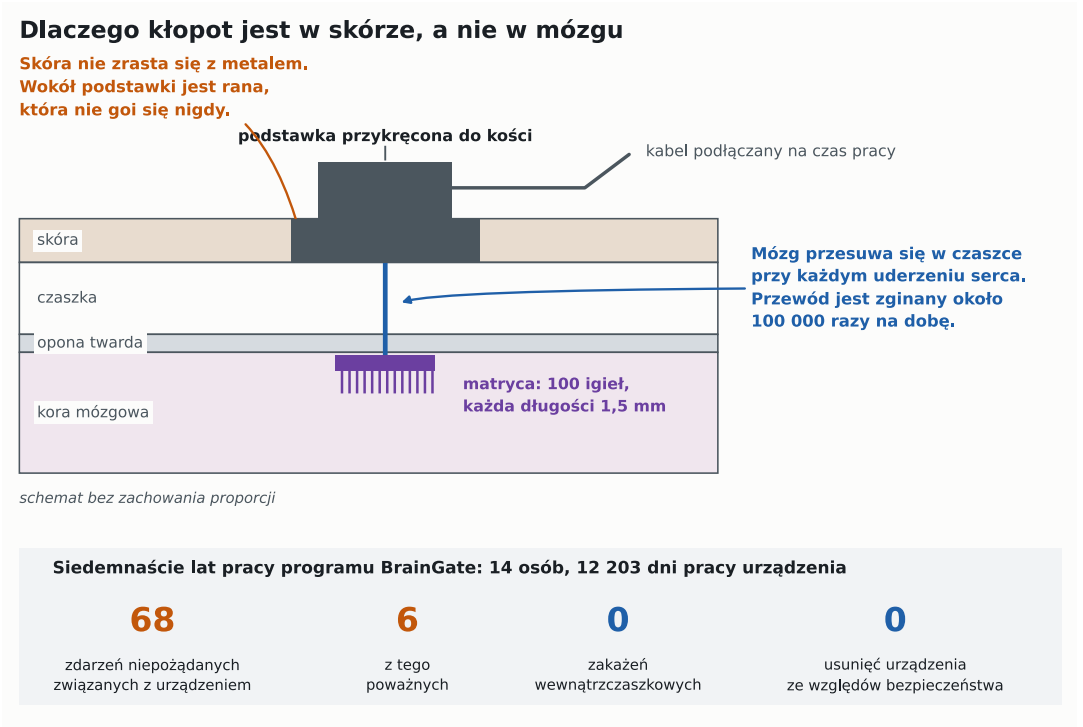
A w czerwcu 2025 roku, także w „Nature", ogłoszono rzecz najbardziej widowiskową: układ, który zamienia sygnał z dwustu pięćdziesięciu sześciu elektrod bezpośrednio w głos, w dziesięć milisekund. Nie w napisy – w dźwięk, słyszalny natychmiast, tak że uczestnik słyszy siebie i może zmienić intonację w trakcie zdania. Ludzie, którym odtworzono nagrania tego głosu i poproszono o spisanie, co słyszą, mylili się mniej więcej co drugi raz: mediana błędu wyniosła czterdzieści trzy i sześć dziesiątych procenta wyrazów.

Czterdzieści trzy procent błędu wobec jednego i sześciu dziesiątych – cztery wyniki zestawiono obok, na **rysunku 2**. Ta sama dziedzina, ten sam rok, podobna liczba elektrod. Skąd taka różnica?

Odpowiedź jest techniczna i tłumaczy bardzo wiele doniesień z tej dziedziny. Układ piszący nie musi podawać wyniku od razu. Może poczekać do końca zdania, a potem oddać swoje przypuszczenia modelowi języka – temu samemu rodzajowi programu, który w telefonie poprawia literówki. Model języka nie słyszy mózgu i nic o nim nie wie. Za to wie, że po słowach „poproszę o szklankę" dużo prawdopodobniejsze jest słowo „wody" niż „body", choć z kory ruchowej oba wyszły prawie tak samo. Wie też, że ciągu liter „wdoy" w polszczyźnie nie ma. Dziesiątki drobnych pomyłek odczytu zostają w ten sposób sprzątnięte, zanim ktokolwiek je zobaczy. Błąd jednego i sześciu dziesiątych procenta jest wynikiem wspólnym dwóch rzeczy: odczytu z mózgu i poprawiania po fakcie.

Układ mówiący natychmiast nie ma ani jednej z tych dwóch możliwości. Po pierwsze, nie ma czasu: ma dziesięć milisekund, a zdanie jeszcze się nie skończyło, więc nie ma kontekstu, na którym mógłby się oprzeć. Po drugie – i to jest ważniejsze – on nie produkuje słów, tylko dźwięk. Nie da się sprawdzić w słowniku fali dźwiękowej. Wszystko, co dekoder odczytał z mózgu niedokładnie, idzie prosto do głośnika i zostaje tam, gdzie jest.

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 3. Dlaczego kłopot jest w skórze, a nie w mózgu. Budowa układu z podstawką przezskórną, schematycznie i bez zachowania proporcji. Zestawienie zdarzeń niepożądanych za pracą „Interim Safety Profile From the Feasibility Study of the BrainGate Neural Interface System", „Neurology", 13 stycznia 2023 – czternaście osób, 12 203 dni pracy urządzenia, lata 2004–2021

Stąd wniosek ogólny, który warto zapamiętać przy czytaniu każdej wiadomości o implantach: im krótsze opóźnienie, tym mniej można poprawić, a im więcej się poprawia, tym mniej wiadomo o tym, co naprawdę odczytano z mózgu. Nie da się mieć obu rzeczy naraz i nikt jeszcze nie pokazał, że się da. Kiedy następnym razem przeczytacie, że implant „odczytuje mowę z dokładnością dziewięćdziesięciu kilku procent", warto spytać, na jak dużym słowniku to zmierzono.

Dziura w skórze, czyli dlaczego przewód jest trudniejszy od odczytu

Teraz przechodzimy do sprawy, która w doniesieniach prasowych nie pojawia się prawie nigdy, a jest – według wszystkiego, co dotąd zmierzono – głównym problemem technicznym tej dziedziny. Nie chodzi o odczyt sygnału. Chodzi o kabel.

Klasyczny układ wygląda tak (**rysunek 3**). W korze mózgowej tkwi matryca elektrod: kwadracik cztery na cztery milimetry, z którego sterczy do dołu sto igieł długości półtora milimetra. Matryce bywają różne – nowsze mają po sześćdziesiąt cztery elektrody, za to wszczepia się ich po kilka naraz i właśnie sześć takich matryc dało opisany wyżej wynik pisania. Od matrycy biegnie wiązka cieniutkich przewodów pod skórą czaszki do metalowej podstawki przykręconej do kości i wystającej ponad skórę. Do tej podstawki podłącza się na czas pracy gruby kabel prowadzący do wzmacniaczy i komputera.

Zestawienie bezpieczeństwa BrainGate z 2023 roku obejmuje 12 203 dni pracy urządzenia u czternastu osób. W tym czasie odnotowano sześćdziesiąt osiem zdarzeń niepożądanych związanych z urządzeniem, w tym sześć poważnych. Zero zakażeń wewnątrzczaszkowych. Zero urządzeń usuniętych z powodów bezpieczeństwa. Zero zgonów z winy urządzenia. A zdarzenie najczęstsze? Podrażnienie skóry wokół podstawki.

Przeczytajmy to jeszcze raz, bo jest to jeden z ciekawszych wyników w całej medycynie

eprasa.pl 360946405d

ostatnich lat. Sto igieł wbitych w korę mózgową na siedemnaście lat nie wywołało ani jednego zakażenia wewnątrz czaszki. Mózg zniósł obecność ciała obcego lepiej niż skóra zniosła dziurę.

Powodów jest kilka i żaden nie jest kwestią elektroniki.

Pierwszy: skóra nie zrasta się z metalem. Nigdy. Rana wokół podstawki pozostaje raną przez cały czas trwania wszczepu, a bakterie, których na skórze zawsze są miliony, mają wzdłuż powierzchni złącza stałą drogę do wnętrza. Wszystkie inne wszczepy, jakie stosuje medycyna – rozrusznik serca, endoproteza biodra, pompa insulinowa – są w całości pod skórą właśnie po to, żeby tej drogi nie było.

Drugi: mózg nie jest przykręcony do czaszki. Pływa w płynie mózgowo-rdzeniowym i przy każdym uderzeniu serca oraz przy każdym oddechu przesuwa się względem kości o ułamek milimetra. Matryca tkwi w mózgu i przesuwa się razem z nim. Podstawka jest przykręcona do kości i nie rusza się wcale. Wiązka przewodów między nimi jest więc zginana z każdym uderzeniem serca – a serce uderza około stu tysięcy razy na dobę, czyli trzydzieści sześć i pół miliona razy do roku. To jest próba zmęczeniowa, której nie sposób przerwać i która trwa tak długo jak wszczep.

Trzeci: złącze wystaje, a wszystko, co wystaje, jest dźwignią. Zahaczenie podstawki o zagłówek wózka albo o poduszkę przenosi siłę przez kość na elektrody tkwiące w tkance.

Czwarty jest najbardziej przyziemny i on właśnie decyduje o tym, że implanty wciąż są w laboratoriach. Z otwartą podstawką na głowie nie można się normalnie umyć. Ranę trzeba codziennie pielęgnować. A żeby czegokolwiek użyć, ktoś musi przyjść i podłączyć kabel. Implant, który wymaga technika, nie jest urządzeniem do życia – jest stanowiskiem badawczym.

Bezprzewodowo, czyli zamiana jednego kłopotu na trzy inne

Dlatego wszystkie nowe konstrukcje – Synchron, Neuralink, Paradromics, chiński NEO – nie mają przezskórnego złącza. Wszystko siedzi pod skórą, a sygnał i zasilanie przechodzą przez nią bezprzewodowo. Problem rany znika. Pojawiają się za to trzy nowe problemy i warto wiedzieć, dlaczego są trudne.

Pierwszy to ciepło. Elektronika pod skórą zużywa energię, a każda zużyta energia zamienia się ostatecznie w ciepło. Tkanki nerwowej nie wolno ogrzać o więcej niż mniej więcej jeden stopień – taką granicę przyjmuje się zwyczajowo w przepisach dla wszczepów. Cały budżet mocy układu jest więc wyznaczony nie przez baterię, tylko przez to, ile ciepła zniesie mózg.

Drugi to pasmo. Trzysta osiemdziesiąt cztery elektrody, próbkowane – przyjmijmy wartości typowe dla takich matryc – trzydzieści tysięcy razy na sekundę, po szesnaście bitów na próbkę, dają sto osiemdziesiąt cztery megabity na sekundę. Wysłanie takiego strumienia radiem przez czaszkę, przy budżecie mocy wyznaczonym przez dopuszczalne ogrzanie, jest niewykonalne. Trzeba więc dane zmniejszyć na miejscu: układ w środku musi sam rozpoznać, że neuron wysłał impuls, i wysłać na zewnątrz samą informację „elektroda numer sto siedem, teraz" zamiast całego przebiegu. Dopiero to mieści się w paśmie. Ale znaczy też, że część pierwotnego sygnału przepada bezpowrotnie – i że o tym, co jest impulsem, a co szumem, rozstrzyga układ zamknięty pod skórą, do którego nikt już nie zajrzy.

I to jest trzeci kłopot: zamknięte urządzenie jest niedostępne. Najlepiej pokazuje to przypadek pierwszego pacjenta Neuralinku. Firma ogłosiła w maju 2024 roku, że część nitek z elektrodami wysunęła się z mózgu w ciągu pierwszych tygodni po operacji. Jaka część – tego w komunikacie nie było; liczbę osiemdziesięciu pięciu procent podał sam pacjent w wywiadzie prasowym. Naprawa polegała na przerobieniu programu tak, żeby korzystał z tych elektrod, które jeszcze coś odbierały. Nie na powtórnej operacji, bo powtórna operacja mózgu to nie jest zabieg, który robi się dla poprawienia parametru.

Chińczycy poszli w przeciwną stronę i ich wybór dobrze pokazuje, jak wygląda tu wymiana coś za coś. Implant NEO ma osiem elektrod i nie wbija się w mózg wcale – leży na oponie twardej, czyli na błonie okrywającej mózg od zewnątrz. Nie ma baterii: zasilanie i odczyt idą przez skórę indukcyjnie, tak jak w ładowarce bezprzewodowej do telefonu. Nic nie przechodzi przez skórę i nic nie kłuje tkanki nerwowej. Cena jest oczywista i została zapłacona świadomie: osiem elektrod na oponie odbiera sygnał nieporównanie słabszy i grubszy niż trzysta osiemdziesiąt cztery igły w korze. Wystarcza go na sterowanie chwytem dłoni – i dokładnie na to urządzenie dopuszczono, u osób po urazie rdzenia, którym w ręce została szczątkowa sprawność. Nie wystarczy

eprasa.pl 360946405d

na dwadzieścia dwa słowa na minutę. Mniej informacji za mniejsze ryzyko – i to jest, jak dotąd, jedyny taki układ dopuszczony gdziekolwiek na świecie do sprzedaży.

Co się dzieje z elektrodami po latach

Obiegowa opowieść o implantach mówi, że elektrody zarastają: organizm otacza je tkanką bliznowatą, sygnał słabnie i po roku albo dwóch wszczep milknie. Największa jak dotąd analiza danych z tej dziedziny pokazuje coś innego i ciekawszego.

W lipcu 2025 roku zespół BrainGate udostępnił opracowanie obejmujące dwadzieścia matryc wszczepionych czternaściorgu pierwszym uczestnikom programu i 2319 sesji pomiarowych zebranych przez dwadzieścia lat. Uwaga metodyczna, którą trzeba podać od razu: jest to praca udostępniona przed recenzją, w serwisie medRxiv, i do dziś nie ukazała się w czasopiśmie recenzowanym. Traktujmy ją więc jako wynik wstępny, a nie ustalony.

Z tym zastrzeżeniem – dane są takie. Przeciętnie w całym zbiorze pomiarów impulsy pojedynczych neuronów rejestrowało trzydzieści pięć i sześć dziesiątych procenta elektrod. Przez cały czas obserwacji – średnio dwa i osiem dziesiątych roku, a u niektórych uczestników siedem i sześć dziesiątych – wartość ta zmalała o siedem procent.

Te dwie liczby razem mówią coś zaskakującego. Nie jest tak, że elektrody działają, a potem zarastają. Jest tak, że dwie trzecie elektrod nie słyszy pojedynczego neuronu od samego początku – i że te, które słyszą, słyszą go przez lata. Powód pierwszej z tych rzeczy nie ma nic wspólnego z blizną: igła długości półtora milimetra albo trafia dostatecznie blisko ciała komórki, żeby wyłowić jej impuls, albo nie trafia. Kora mózgowa nie jest równomiernie wypełniona neuronami, które da się podsłuchać, a igły są rozstawione tam, gdzie pozwala geometria matrycy, a nie tam, gdzie akurat leżą komórki.

Skąd zatem obiegowa opowieść o zarastaniu? Stąd, że wcześniejsze analizy, używające innej definicji elektrody działającej, podawały krótsze czasy życia matryc – rzędu dwóch lat. Nie jest to sprzeczność, tylko różnica w tym, co się liczy. Po dwudziestu latach klinicznego stosowania tej techniki nadal nie ma zgody co do tego, kiedy właściwie uznać matrycę za zepsutą. Jeżeli kiedyś



zobaczycie dwie bardzo różne liczby opisujące trwałość implantu, najprawdopodobniej jest to właśnie to.

W tym samym opracowaniu jest jeszcze jedno zdanie i ono ma dalekosiężne skutki. Jakość odczytu rośnie wraz z liczbą elektrod logarytmicznie. Znaczy to, że podwojenie liczby elektrod nie podwaja jakości, tylko dodaje pewien stały krok. Żeby zyskać taki sam krok jeszcze raz, trzeba podwoić znowu. Dziewięćdziesiąt sześć elektrod, potem sto dziewięćdziesiąt dwie, potem trzysta osiemdziesiąt cztery – dopiero takie podwojenia dokładają za każdym razem mniej więcej tyle samo, a każde kosztuje więcej od poprzedniego. Skok z trzystu osiemdziesięciu czterech do czterystu dwudziestu jeden elektrod, choć wymagał zupełnie nowej konstrukcji, z tego punktu widzenia jest drobny. Droga w górę jest otwarta, tylko robi się coraz bardziej stroma.

Trzysta osiemdziesiąt cztery wobec szesnastu miliardów

I tu dochodzimy do liczby, którą zapowiedziałem na początku – tej, która oddziela dzisiejsze osiągnięcia od czytania w myślach.

W ludzkiej korze mózgowej jest 16,34 miliarda neuronów. Liczba ta nie jest szacunkiem z sufitu: policzono ją w 2009 roku metodą polegającą na rozpuszczeniu tkanki mózgowej i zliczeniu jąder komórkowych w zawiesinie, z niepewnością plus minus 2,17 miliarda.

Układ, który dał opisany wyżej wynik pisania, ma trzysta osiemdziesiąt cztery elektrody; najnowsza wszczepiona konstrukcja – czterysta dwadzieścia jeden. Weźmy tę pierwszą liczbę.

eprasa.pl 360946405d

Wychodzi jedna elektroda na czterdzieści dwa i pół miliona neuronów. A skoro impulsy pojedynczych neuronów rejestruje tylko trzydzieści pięć i sześć dziesiątych procenta elektrod, rachunek robi się jeszcze ostrzejszy: jedna elektroda odbierająca na sto dwadzieścia milionów komórek kory.

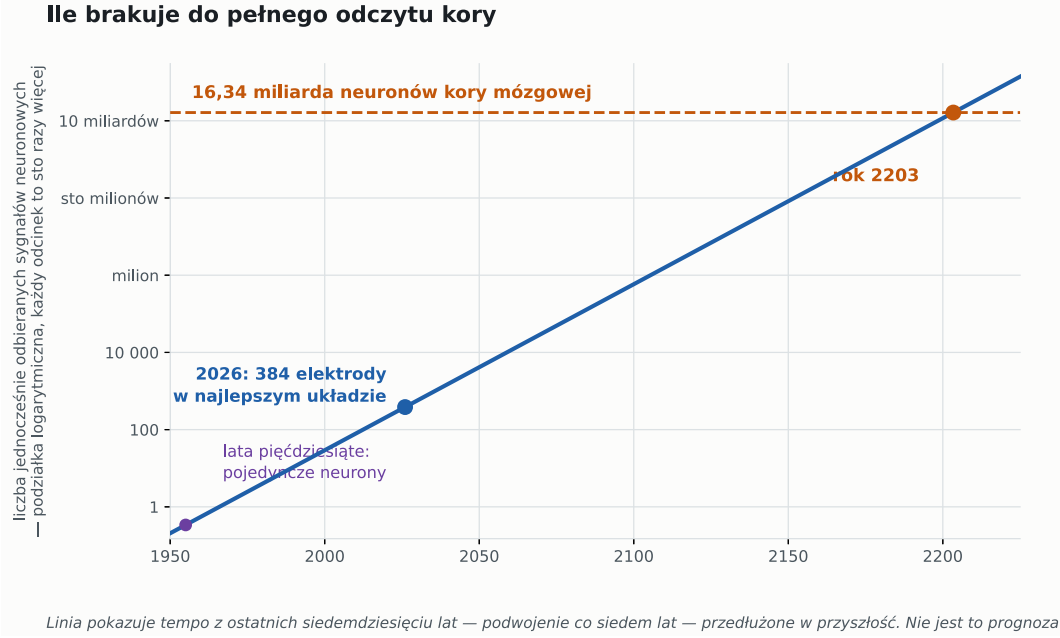
Jak szybko to rośnie? W 2011 roku w „Nature Neuroscience" ukazała się praca, w której zebrano dane o wszystkich badaniach rejestrujących aktywność neuronów od lat pięćdziesiątych. Okazało się, że liczba neuronów rejestrowanych jednocześnie rośnie wykładniczo i podwaja się co mniej więcej siedem lat. Prawidłowość tę opisano w 2011 roku na danych sięgających lat pięćdziesiątych; czy trzyma się do dziś, nikt na nowo nie sprawdzał.

Zróbmy z tego rachunek, zastrzegając wyraźnie, że nie jest to prognoza, tylko sposób pokazania odległości. Od trzystu osiemdziesięciu czterech do szesnastu miliardów trzeba podwoić dwadzieścia pięć i jedną trzecią raza. To jest ta liczba, którą zapowiedziałem na początku: dwadzieścia pięć podwojeń dzieli dzisiejszy najlepszy odczyt od odczytu całej kory. Po siedem lat na podwojenie daje to sto siedemdziesiąt siedem lat. Gdyby tempo się utrzymało – a nic nie każe zakładać, że się utrzyma, bo ani nie musi zwolnić, ani nie musi przyspieszyć – pełny odczyt kory wypadałby gdzieś na początku dwudziestego trzeciego wieku.

Ale nawet ten rachunek jest zbyt łaskawy dla wizji czytania w myślach, i to z dwóch powodów, z których drugi jest mocniejszy.

Powód pierwszy znamy już z poprzedniego podrozdziału: dwudziestu pięciu podwojeniom nie odpowiada wzrost jakości dwudziestopięciokrotny, tylko dwadzieścia pięć razy ten sam niewielki krok.

Powód drugi jest zasadniczy. Implant nie czyta myśli. Implant czyta zamiar ruchu. Wszystkie opisane wyżej układy mowy odczytują próbę mówienia – człowiek stara się wypowiedzieć zdanie, kora ruchowa wysyła polecenia do mięśni języka, warg i krtani, mięśnie ich nie wykonują, a elektrody, wbite właśnie w korę ruchową, przechwytują polecenie po drodze. Samo pomyślenie słowa, bez próby jego wypowiedzenia, takiego sygnału nie daje. Dlatego układ, który pisze dwadzieścia dwa słowa na minutę,



Rysunek 4. Ile brakuje do pełnego odczytu. Liczba neuronów kory mózgowej za pracą Azevedo i współautorów, „The Journal of Comparative Neurology", 2009: 16,34 ± 2,17 miliarda. Tempo wzrostu liczby neuronów rejestrowanych jednocześnie – podwojenie co siedem lat – za pracą Stevensona i Kordinga, „Nature Neuroscience", 2011. Wykres nie jest prognozą: pokazuje, jak daleko stąd dotąd przy tempie utrzymującym się od lat pięćdziesiątych. Podziałka pionowa jest logarytmiczna, każdy odcinek to sto razy więcej

eprasa.pl 360946405d

jest osiągnięciem ogromnym i zarazem czymś zupełnie innym niż czytanie w myślach: on odczytuje ruch, którego mięśnie już nie wykonują.

A gdzie w mózgu zapisane jest wspomnienie i w jakiej postaci – tego nikt nie wie. Przeszkodą nie jest więc liczba elektrod. Przeszkodą jest to, że nie wiadomo, czego szukać ani gdzie. Dołożenie elektrod nie pomaga w szukaniu rzeczy, której się nie umie opisać.

Kiedy mgła opadnie

Rzecz w tej rubryce nie polega na zgadywaniu, kiedy coś nastąpi, tylko na wskazaniu, co trzeba zobaczyć, żeby wiedzieć, że nastąpiło. Tu są cztery takie rzeczy i wszystkie da się sprawdzić samemu.

Po pierwsze: recenzowana praca z danymi pacjentów największych programów firmowych. Neuralink złożył taką pracę w październiku 2025 roku i od tamtej pory się nie ukazała. Synchron ogłosił wyniki sześciorga pacjentów komunikatem prasowym we wrześniu 2024 roku i do czasopisma ich nie wniósł. Dzień, w którym te dane przejdą recenzję, będzie w tej dziedzinie ważniejszy niż niejedna zapowiedź.

Po drugie: implant używany w domu, bez technika, przez miesiące, z podanym czasem używania. Pierwszy krok w tę stronę już jest – dwieście czterdzieści osiem godzin rzeczywistego użytkowania z pracy ogłoszonej w 2024 roku. Trzeba szukać liczb tego właśnie rodzaju: godzin i miesięcy, a nie pojedynczych pokazów.

Po trzecie: układ całkowicie bezprzewodowy, bez złącza przechodzącego przez skórę, w grupie liczonej w dziesiątkach osób, z jawnym zestawieniem zdarzeń niepożądanych – takim, jakie BrainGate ogłosił po siedemnastu latach. Dziś takiego zestawienia dla żadnej z nowych konstrukcji nie ma, bo są za młode.

Po czwarte: ktoś, kto za to zapłaci. Chińskie dopuszczenie z marca 2026 roku jest pierwszym przypadkiem, w którym implant mózgowy przestał być badaniem, a stał się wyrobem do kupienia. Co z tego wyniknie – ilu ludzi go dostanie, jak długo posłuży, ile zdarzeń niepożądanych się zbierze – będzie wiadomo za kilka lat i to będzie pierwszy taki materiał w historii tej dziedziny.

Tymczasem zaś warto pamiętać liczbę, od której zaczęliśmy. Sto pięćdziesiąt osób na całym świecie, i to nie z rejestru, tylko z szacunku. Za dziesięć lat może ich być tyle samo albo tysiąc razy więcej i nic w dzisiejszych danych nie rozstrzyga, która z tych możliwości jest bliższa prawdy. Wiadomo natomiast, na co patrzeć, żeby się w porę zorientować.

I wiadomo jeszcze jedno, o czym w tym wyliczaniu zastrzeżeń nie należy zapomnieć. Dla dwojga ludzi, którzy nie mogą poruszyć palcem, sto dziesięć znaków na minutę nie jest ani szacunkiem, ani zapowiedzią, ani prognozą. Jest pomiarem – ogłoszonym, zrecenzowanym i powtarzalnym. W tej dziedzinie to towar najrzadszy ze wszystkich. ■

WM

Cztery pytania do każdej wiadomości o implancie

Doniesienia o interfejsach mózg–komputer bywają ścisłe i bywają rozdmuchane, a odróżnić jedne od drugich da się czterema pytaniami.

Ilu ludzi i co to znaczy? „Dwudziestu jeden pacjentów” może znaczyć: zapisanych do badania, po operacji, albo używających urządzenia dziś. Osobna sprawa to zabiegi, w których elektrody leżą na mózgu przez godzinę w trakcie innej operacji i są zaraz usuwane – to bywa liczone razem z wszczepieniami trwałymi, choć jest czymś zupełnie innym.

Kto to ogłosił i gdzie? Czasopismo recenzowane znaczy, że przed ogłoszeniem czytali to niezależni specjaliści i mogli zażądać poprawek. Komunikat prasowy firmy znaczy, że nie czytał nikt z zewnątrz. Obie rzeczy bywają prawdziwe, ale tylko pierwszą ktoś sprawdzał.

Na czym mierzono błąd? Ten sam układ mylił się w dziewięciu słowach na sto przy słowniku pięćdziesięciu słów i w niecałych dwudziestu czterech na sto przy słowniku stu dwudziestu pięciu tysięcy. Jedno urządzenie, jeden pomiar, dwie liczby. Wielkość słownika jest w pracach naukowych podawana zawsze, w nagłówkach prawie nigdy.

Ile trwało czekanie na wynik? Układ, który czeka do końca zdania, może swoje przypuszczenia poprawić modelem języka. Układ, który odzywa się po dziesięciu milisekundach, nie może. Dlatego ten pierwszy myli się rzadziej – i dlatego mniej z tej dokładności pochodzi z samego mózgu.

I pytanie piąte, zapasowe: czy mowa o odczycie zamiaru ruchu, czy o odczycie myśli? Wszystkie dzisiejsze implanty robią to pierwsze. Drugiego nie robi żaden i nie wynika to z liczby elektrod.

eprasa.pl 360946405d

Oddajemy cześć kobietom, które odegrały wybitną rolę w rozwoju techniki i nauk ścisłych

Dwie i pół zimy bez pieca. Czego nie wybaczono Márii Telkes

W Wigilię 1948 roku trzyosobowa rodzina wprowadziła się do domu w Dover pod Bostonem. Dom nie miał pieca; nie miał kotła, komina ani grzejników elektrycznych, niczego, co wytwarzałoby ciepło. Ciepłe powietrze wychodziło kratkami w ścianach, a za kratkami stała sól. Przez najbliższe dwie i pół zimy w Nowej Anglii było w nim ciepło wyłącznie dzięki Słońcu.

Dom ostatecznie przestał działać; w 1954 roku wstawiono na strychu zwyczajny piec olejowy. Można z tego zrobić opowieść o tym, że „już wtedy wszystko było możliwe", ale ciekawsze jest co innego: co dokładnie się zepsuło, kto za to odpowiadał i czyje nazwisko zostało z tym związane na siedemdziesiąt lat. To trzy osobne pytania.



Dr. Mária Telkes. Fotografia autorstwa New York World-Telegram and the Sun staff photographer – Library of Congress Prints and Photographs Division. New York World-Telegram and the Sun Newspaper Photograph Collection. http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cph.3c13268, Domena publiczna, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1309703

Kobieta, która przyjechała z Budapesztu

Mária Telkes urodziła się 12 grudnia 1900 roku w Budapeszcie. Doktorat z chemii fizycznej obroniła na tamtejszym uniwersytecie w 1924 roku, mając dwadzieścia trzy lata, i wkrótce potem wyjechała do Stanów Zjednoczonych. Pracowała najpierw w klinice w Cleveland, gdzie z chirurgiem George'em Crile'em zbudowała urządzenie do fotoelektrycznego zapisu fal mózgowych, potem przez dwa lata w Westinghouse nad przetwornikami termoelektrycznymi, a w lipcu 1939 roku trafiła do Massachusetts Institute of Technology, czyli MIT, do zespołu zajmującego się przetwarzaniem energii słonecznej.

Kierownikiem programu był inżynier chemik Hoyt Hottel. O energii słonecznej i przedstawionych mu wyliczeniach Telkes pisał w 1940 roku tak:

Liczby takie jak te są niemal bez znaczenia dla zagadnienia praktycznego wykorzystania energii słonecznej.

eprasa.pl 360946405d

A prasa? W 1932 roku, gdy Telkes pracowała jeszcze w Cleveland, znany publicysta Arthur Brisbane poświęcił jej felieton, w którym nazwał ją „młodą i piękną węgierską intelektualistką”. O tym, czym się zajmowała, napisał niewiele.

W czasie wojny Telkes została doradcą rządowego Biura Badań Naukowych i Rozwoju i zaprojektowała słoneczną destylarnię dla tratw ratunkowych: przezroczysty worek, w którym woda morska parowała w słońcu, a para skraplała się na wewnętrznej ścianie i spływała do zbiornika. Takie destylarnie weszły do wyposażenia ratunkowego, a w 1945 roku dostała za ten projekt rządowy Certyfikat Zasługi.

Dlaczego sól, a nie woda

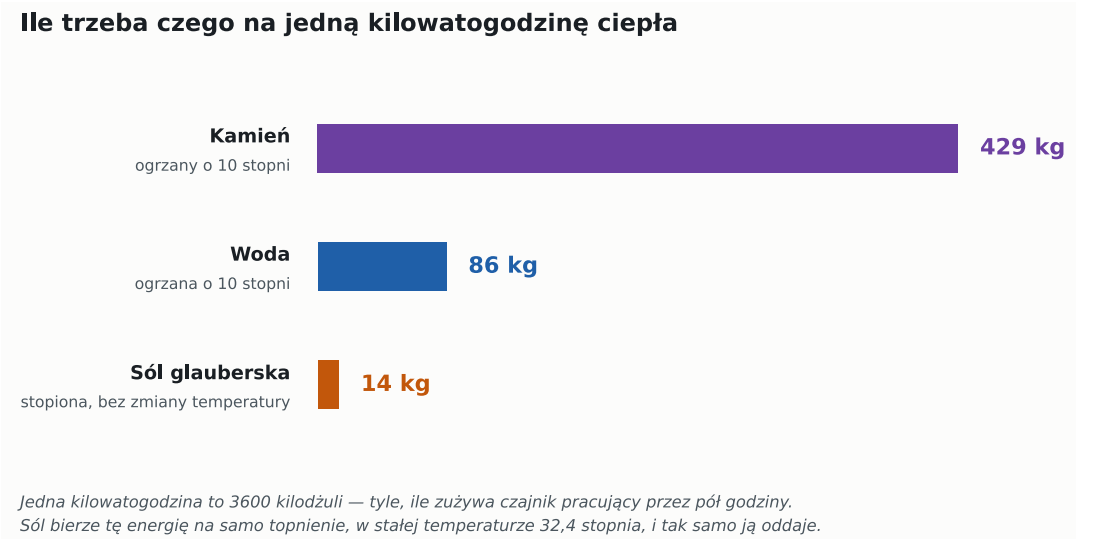
Zanim wejdziemy do tego domu, trzeba przejść przez trochę chemii. Dom ogrzewany Słońcem nie ma kłopotu z zebraniem ciepła. Ma kłopot z jego przechowaniem. Słońce świeci w dzień, a najzimniej jest nad ranem, a w Nowej Anglii zdarzają się po trzy, cztery, pięć pochmurnych dni z rzędu, tak że zbiornik ciepła musi przetrzymać nie jedną noc, lecz cały taki ciąg.

Najprostszy zbiornik to woda. Jeden kilogram wody ogrzany o jeden stopień bierze 4,19 kilodżula, ogrzany o dziesięć stopni – 41,9 kilodżula. To ciepło jawne: takie, które widać na termometrze, bo wraz z pobieraniem ciepła rośnie temperatura.

Jest jednak drugi sposób magazynowania, przy którym termometr nic nie pokazuje. Gdy ciało stałe topnieje, pobiera energię potrzebną do rozerwania wiązań w krysztale, a przez cały czas topnienia temperatura ani drgnie. Ta energia nazywa się ciepłem utajonym i przy tej samej zmianie temperatury jest nieporównanie większa od ciepła jawnego.

Telkes postawiła na sól glauberską, czyli siarczan sodu dziesięciowodny: pospolitą, tanią substancję, którą można kupić w worku. Topnieje w temperaturze 32,4 stopnia Celsjusza i przy topnieniu pobiera około 254 kilodżuli na kilogram – sześć razy więcej, niż przyjmuje woda ogrzana o dziesięć stopni, a termometr przez cały ten czas stoi. (Dzisiejsze pomiary dają od 239 do 254; biorę górną wartość i na niej prowadzę wszystkie rachunki w tym artykule.)

Temperatura 32 stopni nie jest przypadkiem; to ona decyduje o całej konstrukcji. Gdyby sól topniała w dwudziestu stopniach, nie dałoby się nią ogrzać pokoju, bo ciepło płynie od cieplejszego do zimniejszego, a w pokoju ma być właśnie około dwudziestu stopni. Gdyby topniała w sześćdziesięciu, zimowe słońce w Massachusetts nie zdołałoby jej roztopić. Trzydzieści



Rysunek 1. Ile trzeba czego, żeby zmagazynować jedną kilowatogodzinę ciepła. Ciepło właściwe wody jest wartością tablicową, ciepło właściwe kamienia – typową dla skał budowlanych; temperaturę topnienia 32,4°C i ciepło topnienia 254 kJ/kg soli glauberskiej podano za przeglądem własności uwodnionych soli opracowanym w Oak Ridge National Laboratory wspólnie z Georgia Tech i Sandia National Laboratories (konferencja High Performance Buildings, Purdue 2018). Przeliczenia na kilogramy wykonano w redakcji przy założeniu ogrzania o dziesięć stopni

eprasa.pl 360946405d

dwa stopnie leżą w szczelinie między jednym a drugim: dość wysoko, żeby ogrzać mieszkanie, dość nisko, żeby styczniowe słońce dało radę.

Przewaga soli jest zresztą większa, niż wynika z samej masy, bo liczy się też miejsce. Żeby zmagazynować jedną kilowatogodzinę ciepła, trzeba czternastu kilogramów soli glauberskiej albo osiemdziesięciu sześciu kilogramów wody ogrzanej o dziesięć stopni. Sól ma gęstość blisko półtora raza większą od wody, więc te czternaście kilogramów zajmuje niecałe dziesięć litrów, czyli mieści się w wiadrze; osiemdziesiąt sześć kilogramów wody to osiemdziesiąt sześć litrów.

Dziewięć razy więcej objętości na tę samą zmagazynowaną energię. Dla domu, w którym magazyn ciepła ma się zmieścić w ścianie, a nie w osobnej piwnicy, to rozstrzyga.

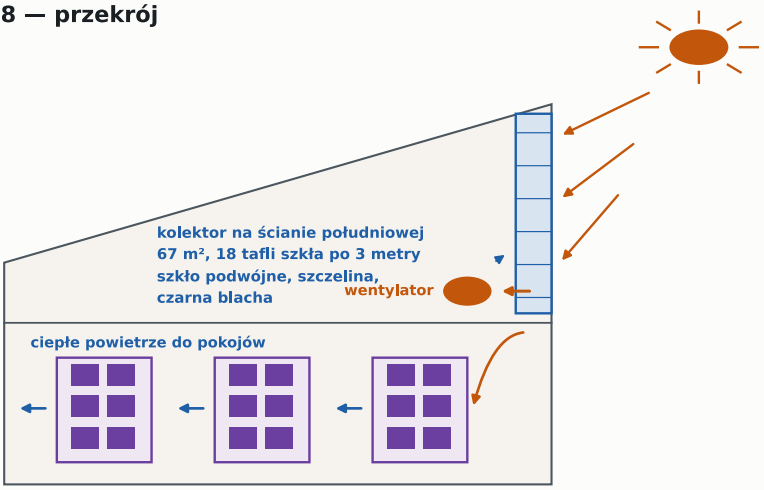
Jest jeszcze jedna liczba, tym razem z jej własnego zgłoszenia patentowego, i mówi ona o ostrożności. Ciepło topnienia soli glauberskiej podała tam jako 103 BTU na funt – w brytyjskich jednostkach ciepła, jakimi posługiwali się wtedy amerykańscy inżynierowie. Po przeliczeniu daje to 240 kilodżuli na kilogram, czyli dolny kraniec przedziału, który podają dzisiejsze opracowania.

Jak był zbudowany dom w Dover

Dom powstał w 1948 roku w Dover w stanie Massachusetts i był przedsięwzięciem trzech kobiet. Pieniądze dała rzeźbiarka Amelia Peabody, na której posiadłości stanął. Zaprojektowała go architektka Eleanor Raymond. Instalację grzewczą obmyśliła Telkes. Mieszkał w nim kuzyn Márii Telkes, lekarz Anthony Nemethy, z żoną Esther i synem Andrew. Skład nie był przypadkowy: Eleanor Raymond była wziętą architektką modernistyczną, która od lat budowała domy doświadczalne – ze sklejki, ze stali, z materiałów wtedy nowych – a Amelia Peabody rzeźbiarką, która finansowała rzeczy, w które wierzyła. Żadna z tych trzech kobiet nie potrzebowała zgody uczelni ani przedsiębiorstwa, żeby sprawdzić pomysł w skali jeden do jednego. W 1948 roku była to jedyna droga, jaką Telkes miała; dlaczego – wyjaśni się w rozdziale o jej odejściu z MIT.

Budynek był długim, wąskim klinem – ściana południowa o piętro wyższa od północnej. Całe to piętro zajmował kolektor: osiemnaście pionowych tafli szkła wysokości trzech metrów, za nimi szczelina powietrzna, a za szczeliną czarna blacha. Szkło było podwójne, żeby

Dom w Dover, 1948 — przekrój



5 pokojów · 135 m² powierzchni · zapas na 5 pochmurnych dni · 1378 kWh

schemat bez zachowania proporcji

Rysunek 2. Dom w Dover w przekroju, schematycznie i bez zachowania proporcji. Powierzchnia kolektora, objętość skrzyń, masa soli, powierzchnia ogrzewana i pojemność cieplna za artykułem „Missed opportunity in decarbonizing heat 77 years ago", czasopismo „Thermal Science", 5 lipca 2025 – jedynym recenzowanym opracowaniem inżynierskim tego domu. Budowę kolektora i trzy skrzynie ciepła za przewodnikiem po budynkach MIT opracowanym przez biblioteki MIT. Liczba kanistrów policzona w redakcji

eprasa.pl 360946405d

zatrzymać ciepło w środku. Blacha nagrzewała się w słońcu i oddawała ciepło powietrzu w szczelinie.

Pierwsza decyzja, która odróżniała ten dom od pozostałych doświadczeń MIT, dotyczyła czynnika roboczego: powietrze, nie woda. Powietrze nie zamarza, nie przecieka w sposób groźny i nie wymaga pompy, wystarczy wentylator. Sterowane termostatem wentylatory wtłaczały nagrzane powietrze w dół, do trzech skrzyń ciepła wbudowanych w ściany między pokojami; w skrzyniach stały metalowe kanistry z solą. Gdy sól się roztopiła, ciepło było zmagazynowane. Gdy w domu robiło się chłodno, drugi wentylator przepuszczał powietrze przez skrzynie i wpychał je kratkami do pokojów, a sól oddawała ciepło i krzepła.

Kolektor miał około 67 metrów kwadratowych. Skrzynie mieściły łącznie 13,3 metra sześciennego soli, rozlanej do kanistrów po 19 litrów – czyli do jakichś siedmiuset sztuk – a masa tej soli wynosiła 19 ton. Zbieżność obu dziewiętnastek jest przypadkowa: pierwsza to pojemność jednego kanistra, druga masa całego magazynu. Że do siebie pasują, łatwo sprawdzić, bo gęstość soli glauberskiej jest bliska półtora kilograma na litr, a 13,3 metra sześciennego razy półtora daje właśnie blisko dwadzieścia ton. Dom miał pięć pokojów i 135 metrów kwadratowych powierzchni. Teoretyczna pojemność cieplna magazynu wynosiła 1378 kilowatogodzin, a instalację zaprojektowano tak, żeby przetrwała pięć pochmurnych dni z rzędu.

Te 1378 kilowatogodzin można sprawdzić samemu, rachunek jest krótki. Dziewiętnaście ton to 19 000 kilogramów; razy 254 kilodżule daje 4826 megadżuli, czyli 1341 kilowatogodzin. Różnica wobec 1378 to niecałe trzy procent i bierze się stąd, że oprócz samego topnienia magazyn przechowuje też trochę ciepła jawnego, w soli i w metalu kanistrów.

Dla porównania: żeby zmagazynować te 1341 kilowatogodzin w wodzie ogrzewanej o dziesięć stopni, trzeba byłoby stu piętnastu ton wody, czyli zbiornika wielkości pokoju.

Pierwsza zima wypadła dobrze. Instalacja pokryła dziewięćdziesiąt jeden procent zapotrzebowania domu na ciepło. Dom otwarto dla zwiedzających w marcu 1949 roku; do sierpnia przeszło przez niego około trzech tysięcy osób. Prasa pisała o nim z mieszaniną podziwu i kpiny – jedna z gazet nazwała go „przerośniętym kurnikiem".

Co naprawdę się zepsuło

A potem zaczęły się kłopoty. W literaturze znajdziemy cztery różne wyjaśnienia, dlaczego dom przestał działać. Nie są to warianty jednego wyjaśnienia, ale cztery osobne rzeczy, i tylko jedna z nich – rozwarstwianie – jest wadą samej soli.

Pierwsza: sól rzeczywiście się rozwarstwiała. Mechanizm jest na tyle ładny, że dalej dostanie osobny rozdział.

Druga: metalowe pojemniki korodowały i przeciekały. Sól glauberska w obecności wody jest dla zwykłej blachy agresywna.

Trzecia – i to jest przyczyna, którą historyk architektury Daniel Barber ustalił z zachowanej korespondencji między Peabody a Raymond, czyli z dokumentów, a nie z relacji prasowych: od upałów w kolektorze wysychała masa uszczelniająca szyby. Panele zaczynały przepuszczać powietrze i wodę. Każdego lata instalację trzeba było składać od nowa, wymieniać sól i uszczelniać szyby. Zawiniło więc uszczelnienie okna, nie sól.

Czwarta jest całkiem nietechniczna i w praktyce to ona zamknęła sprawę: prąd zużywany przez wentylatory kosztował tyle, że zjadał oszczędność na oleju opałowym. Za ciepło dom nie płacił, ale rachunek za prąd przychodził.

Dochodzi do tego decyzja projektowa, która zemściła się przy każdym z czterech powodów: instalacja miała pokryć sto procent zapotrzebowania i nie przewidziano żadnego ogrzewania rezerwowego. Każdy niedobór było więc czuć natychmiast. Andrew Nemethy, który jako dziecko w tym domu mieszkał, wspominał po latach, że „po tygodniowych ciągach pochmurnych dni temperatura w środku spadała do poziomów, przy których wpadało się w popłoch". Magazyn projektowano na pięć pochmurnych dni; tygodniowy ciąg to dwa dni więcej. W 1952 roku Peabody pisała do Raymond, że lokatorzy zachowują się „często bohatersko", znosząc „przejmujące zimno".

Wiosną 1954 roku, po ciężkiej zimie, Peabody zakończyła doświadczenie i powiedziała o tym gazecie wprost. Na strychu stanął piec olejowy. Domu jednak nie opuszczono: rodzina Nemethych mieszkała w nim dalej, ojciec przez jakieś trzydzieści pięć lat, matka aż do śmierci w 1981 roku.

eprasa.pl 360946405d

Dlaczego sól się zużywa

Wróćmy do rozwarstwiania. To kawałek chemii, z którym dzisiejsza technika musiała się rozprawić, żeby ruszyć dalej.

Sól glauberska topnieje niezgodnie. Znaczy to tyle, że po przekroczeniu 32,4 stopnia nie zamienia się po prostu w ciecz. Rozpada się na dwoje: na nasycony roztwór i na bezwodny siarczan sodu, którego w tej wodzie rozpuścić się nie da, bo powyżej temperatury topnienia rozpuszczalność bezwodnej soli jest mała. Bezwodna sól jest gęstsza od roztworu, więc opada na dno pojemnika.

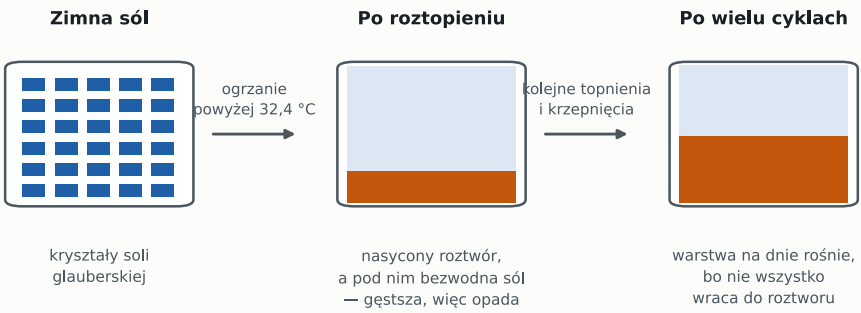
Przy krzepnięciu ta bezwodna sól musiałaby wrócić w górę i połączyć się z wodą z powrotem w kryształy dziesięciowodne. Część wraca. Część zostaje na dnie, bo nie ma już z czym się spotkać. Przy każdym kolejnym cyklu na dnie zostaje trochę więcej, a ilość soli biorącej udział w topnieniu maleje. Magazyn nie psuje się nagle. Z każdą zimą ma mniejszą pojemność, aż przestaje wystarczać.

Jest jeszcze druga przypadłość, odwrotna: przechłodzenie. Roztwór, który powinien zakrzepnąć w 32 stopniach, potrafi ostygnąć o kilkanaście stopni poniżej tej temperatury i wciąż pozostać ciekły. A skoro nie krzepnie, nie oddaje ciepła utajonego, po które go do tego domu wstawiono.

W opowieściach o tym domu ginie zwykle jedno. Telkes znała oba te kłopoty, a jeden z nich rozwiązała i opatentowała rozwiązanie. W zgłoszeniu złożonym w sierpniu 1946 roku, czyli jeszcze zanim dom w Dover powstał, napisała, że dodatek boraksu zapobiega przechłodzeniu soli glauberskiej, a przy okazji hamuje korozję. W późniejszym zgłoszeniu podała nawet skład: od jednego do pięciu procent boraksu wagowo, reszta sól glauberska.

Mechanizm, opisany dopiero przez późniejsze prace, jest taki: kryształ boraksu ma zbliżoną budowę do kryształu soli glauberskiej, więc pracuje jako zarodek krystalizacji. Roztwór nie musi

Dlaczego sól traci pojemność z każdym cyklem



Cztery przyczyny, dla których dom przestał działać

Rozwarstwienie soli w pojemnikach	**to sól**
Korozja i przecieki metalowych pojemników	**to sól**
Wyschnięta masa uszczelniająca szyby kolektora	**to nie sól**
Koszt prądu zużywanego przez wentylatory	**to nie sól**

Piąty znany kłopot tej soli — przechłodzenie — Mária Telkes rozwiązała dodatkiem boraksu i opatentowała w 1946 roku, czyli zanim dom powstał.

Rysunek 3. Na górze: dlaczego sól glauberska traci pojemność z każdym cyklem. Mechanizm topnienia niezgodnego i opadania bezwodnej soli za przeglądem Oak Ridge National Laboratory (Purdue 2018) i pracą ogłoszoną w czasopiśmie „Materials” w 2025 roku. Na dole: cztery przyczyny, dla których dom w Dover przestał działać, z zaznaczeniem, które z nich dotyczą soli, a które nie. Źródła poszczególnych przyczyn podano w notach redakcyjnych

eprasa.pl 360946405d

zaczynać od zera, ma na czym narastać. Dzisiejsze pomiary podają, że cztery procent boraksu zmniejsza przechłodzenie z czternastu stopni do czterech, a prace ogłaszane dziś nazywają boraks najpopularniejszym zarodkiem krystalizacji dla tej soli – osiemdziesiąt lat później wciąż jest w użyciu.

Drugi kłopot, czyli opadanie, rozwiązano już po niej, i to na dwa sposoby. Pierwszy to zagęszczacze: do soli dodaje się substancję, która robi z roztworu coś w rodzaju galaretki, więc ziarna nie mają jak opaść. Drugi to zamknięcie soli w mikroskopijnych kapsułkach, w których nie ma dokąd opadać. W badaniach prowadzonych dla amerykańskiego Departamentu Energii kapsułkowana sól uwodniona – nie glauberska, tylko chlorek wapnia sześciowodny – zachowała po tysiącu cykli topnienia i krzepnięcia 96,5 procent swojej pojemności cieplnej. Dla soli glauberskiej takiego wyniku nikt jeszcze nie pokazał.

Co ją to kosztowało

Historia techniczna kończy się mniej więcej tutaj. Zawodowa kończy się gorzej, a daty w niej wiele tłumaczą, więc idą po kolei.

W 1946 roku pierwsze doświadczenie MIT z magazynowaniem ciepła w soli glauberskiej nie wyszło. Hottel odsunął ją od programu słonecznego i przeniósł do wydziału metalurgii. Dom w Dover powstał więc poza programem MIT – za pieniądze prywatnej fundatorki, według projektu architektki spoza uczelni.

W 1952 roku Stowarzyszenie Kobiet Inżynierów przyznało jej swoją nagrodę za osiągnięcia (była pierwszą laureatką w historii tego wyróżnienia), z uzasadnieniem: „w uznaniu jej zasłużonego wkładu w wykorzystanie energii słonecznej".

W kwietniu 1953 roku Hottel napisał do dziekana, że Telkes od 1947 roku jest „wysoce krytyczna wobec programu MIT". W maju 1953 roku dziekan George Harrison złożył sprawozdanie z programu słonecznego finansowanego z funduszu Godfreya Cabota, w którym napisał o „nieco wątpliwych działaniach doktor Telkes". W tym samym 1953 roku jej zatrudnienie w MIT się skończyło. Przeszła na uniwersytet nowojorski i zorganizowała tam własne laboratorium energii słonecznej. Pracowała jeszcze ćwierć wieku – w Curtiss-Wright, w Melparze, wreszcie w Instytucie Przetwarzania Energii uniwersytetu stanu Delaware, gdzie przeszła na emeryturę w 1978 roku jako profesor.

Że zwolniono ją za bycie kobietą, z żadnego dokumentu wyczytać się nie da, i pisać tego nie będę. Z dokumentów wyczytać można co innego, w tej sprawie zresztą ciekawsze. Z czterech przyczyn, dla których dom w Dover przestał działać, dwie – wyschnięte uszczelnienie szyb i koszt prądu na wentylatory – nie mają z solą nic wspólnego. Trzecia, korozja kanistrów, jest wadą blachy. Zostaje rozwarstwianie, czyli jedna z dwóch znanych przypadłości tej soli; drugą, przechłodzenie, Telkes rozwiązała i opatentowała, zanim dom powstał. Do jej nazwiska przykleiło się jednak jedno zdanie: że sól zawiodła.

Jest w tym jeszcze jedna rzecz, mniej oczywista. Zespół Hottela budował w tym samym czasie własne domy doświadczalne, w których

Ciepło jawne i ciepło utajone – policz sam

Zmagazynujmy jedną kilowatogodzinę ciepła, czyli 3600 kilodżuli. Tyle zużywa czajnik o mocy dwóch kilowatów, pracujący przez pół godziny.

Kamieniem: ciepło właściwe kamienia – wartość typowa dla skał budowlanych – to około 0,84 kJ na kilogram i stopień. Ogrzewając go o dziesięć stopni, zmagazynujemy 8,4 kJ w kilogramie. Potrzeba 429 kilogramów – prawie pół tony gruzu.

Wodą: ciepło właściwe 4,19 kJ na kilogram i stopień, przy dziesięciu stopniach 41,9 kJ w kilogramie. Potrzeba 86 kilogramów, czyli wanny napełnionej do połowy.

Solą glauberską: topnienie bierze 254 kJ w kilogramie i nie wymaga żadnej zmiany temperatury. Potrzeba 14 kilogramów – jedno wiadro.

Trzydzieści razy mniej masy niż kamienia i sześć razy mniej niż wody. I jeszcze jedna przewaga, którą łatwo przeoczyć: woda i kamień oddają ciepło coraz chłodniejsze, bo stygną. Sól oddaje je przez cały czas krzepnięcia w tej samej temperaturze – 32 stopnie, aż do ostatniego grama.

Haczyk też jest jeden i zdecydował o losach domu w Dover: materiał, który sto razy stopnieje i sto razy zakrzepnie, musi za sto pierwszym razem być tym samym materiałem. Woda w zbiorniku zawsze jest wodą. Z solą po stu cyklach bywa inaczej.

eprasa.pl 360946405d

ciepło magazynowano w wodzie. Także one nie doprowadziły do urządzenia, które dałoby się sprzedawać; po kolejnym domu program zamarł, a po latach uznano go za nieproduktywny. Żadna z dwóch dróg nie doprowadziła więc do urządzenia; różnica była w tym, kto o której orzekał, że to porażka.

Co z tego zostało

Magazynowanie ciepła w przemianie fazowej wróciło, i to tam, gdzie Telkes chciała je mieć: w ścianach i sufitach budynków. Dzisiejsze materiały zmiennofazowe to najczęściej parafiny zamknięte w mikrokapsułkach i wmieszane w płytę gipsową albo w panel sufitowy. Ich ciepło topnienia mieści się zwykle między 150 a 250 kilodżulami na kilogram, czyli co najwyżej tyle, ile daje sól glauberska, a zwykle wyraźnie mniej – za to kłopotów soli nie mają.

Sama sól glauberska też wróciła. W pracy ogłoszonej w 2025 roku w czasopiśmie „Materials" opisano jej mieszaniny z solą kuchenną, które topnieją w 21 stopniach – czyli w temperaturze pokoju, a nie w 32,4 stopnia jak czysta sól glauberska, o jedenaście stopni niżej – i magazynują 171 kilodżuli na kilogram. Stabilizowano je poliakrylanem sodu jako zagęszczaczem i boraksem jako zarodkiem krystalizacji. Tym samym boraksem.

Domu w Dover już nie ma. Rozebrano go około 2010 roku, a na jego miejscu stanął nowy, z dużą instalacją fotowoltaiczną na dachu: ta sama działka, to samo Słońce.

Márii Telkes nie było już wtedy na świecie od piętnastu lat. Zmarła 2 grudnia 1995 roku w Budapeszcie, dziesięć dni przed dziewięćdziesiątymi piątymi urodzinami, w mieście, z którego wyjechała siedemdziesiąt lat wcześniej. W 2012 roku, pośmiertnie, wpisano ją do amerykańskiej Narodowej Galerii Sław Wynalazców.

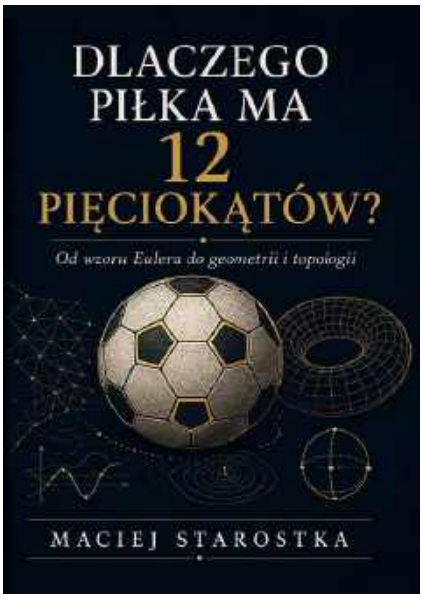
Zostaje pytanie bez czystej odpowiedzi. Instalacja, która przez dwie i pół zimy ogrzała dom w Nowej Anglii bez grama paliwa, a potem przestała – porażka czy wynik? Zależy, czego się szukało: urządzenia gotowego do sprzedaży czy odpowiedzi na pytanie, czy to w ogóle jest możliwe. W pierwszym rachunku porażka. W drugim wynik, i to pozytywny, uzyskany o siedemdziesiąt siedem lat wcześniej, niż ktokolwiek zaczął mówić o dekarbonizacji ciepła. ■

Paweł Biernacki

Dlaczego piłka ma 12 pięciokątów?

Maciej Starostka

Wydawnictwo: Maciej Starostka, stron: 156,
sugerowana cena: 35,00 zł



Dlaczego klasyczna piłka futbolowa ma dokładnie dwanaście pięciokątów? Dlaczego kuli nie da się uczesać? Czy można rozpoznać kształt powierzchni, nie oglądając jej z zewnątrz? I co wspólnego mają z matematyką góry, przełęcze, mrówki wędrujące po Ziemi czy dwa przeciwległe punkty planety? „Dlaczego piłka ma 12 pięciokątów?" to popularnonaukowa podróż przez geometrię i topologię – od prostych obserwacji o wielościanach aż do idei, które należą do najpiękniejszych osiągnięć współczesnej matematyki. Punktem wyjścia jest wzór Eulera V–E+F=2V-E+F=2. Z niego wyrastają kolejne pytania: jak matematyka opisuje powierzchnie? Czym naprawdę jest krzywizna? Dlaczego liczba maksimów, minimów i przełęczy mówi coś o globalnym kształcie? Skąd wiadomo, że na Ziemi istnieją dwa przeciwległe punkty o tej samej temperaturze? Dlaczego pewnych pól wektorowych na sferze po prostu nie da się skonstruować? W książce pojawiają się między innymi charakterystyka Eulera, twierdzenie Gaussa–Bonneta, teoria Morse'a, twierdzenie Poincarégo–Hopfa, twierdzenie Brouwera, kategoria Lusternika–Schnirelmanna i twierdzenie Borsuka–Ulama. Wszystkie te idee są jednak przedstawiane przede wszystkim intuicyjnie – przez rysunki, przykłady, eksperymenty myślowe i konkretne pytania. To książka dla ambitnych licealistów, studentów innych kierunków oraz dorosłych, którzy lubią matematykę i chcą zobaczyć, jak wygląda ona poza szkolnym zestawem wzorów. Nie wymaga ukończenia studiów matematycznych ani znajomości zaawansowanego formalizmu. Jej głównym bohaterem jest jedna z najbardziej fascynujących idei matematyki: globalny kształt przestrzeni może wymuszać istnienie lokalnych zjawisk, których nie da się uniknąć.

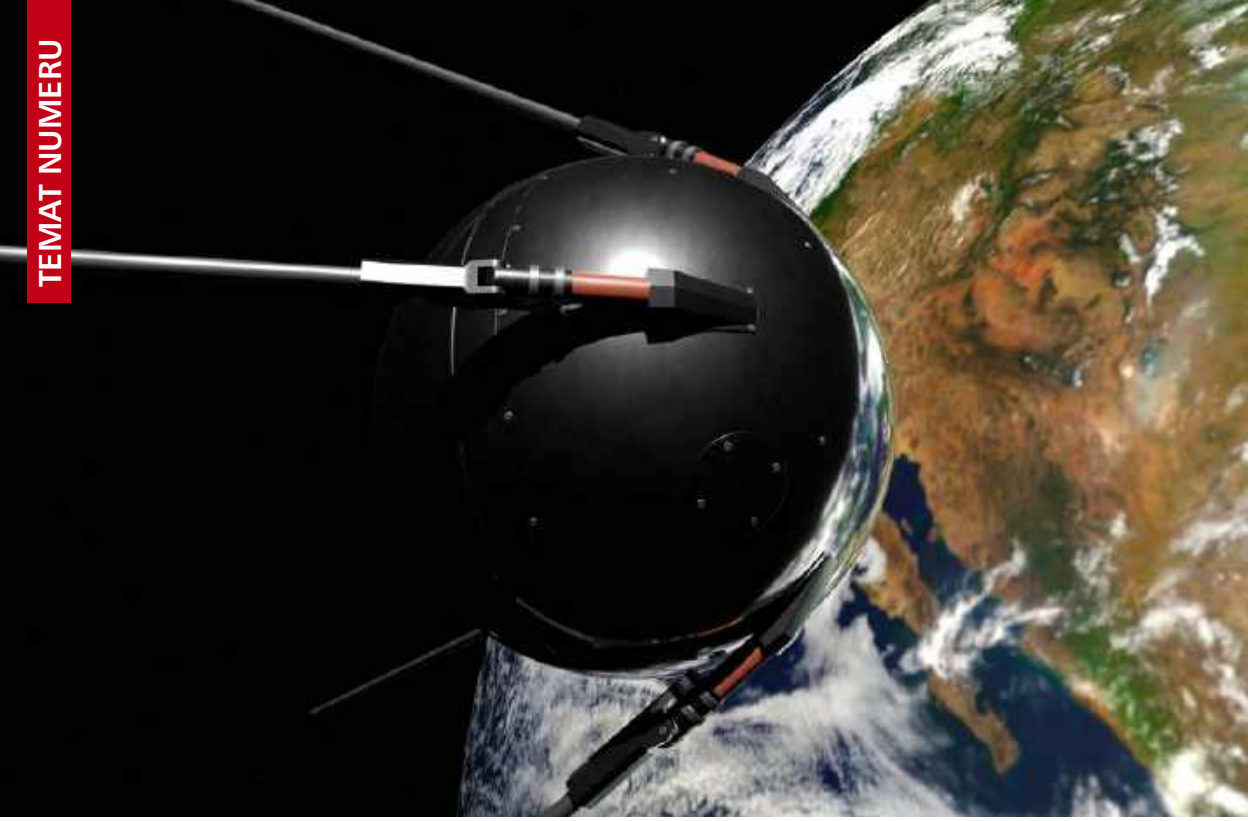
eprasa.pl 360946405d

KOSMOS



RZECZ POSPOLITA WSZYSTKICH NARODÓW

eprasa.pl 3609464405d



Od państw dwóch do stu dwóch

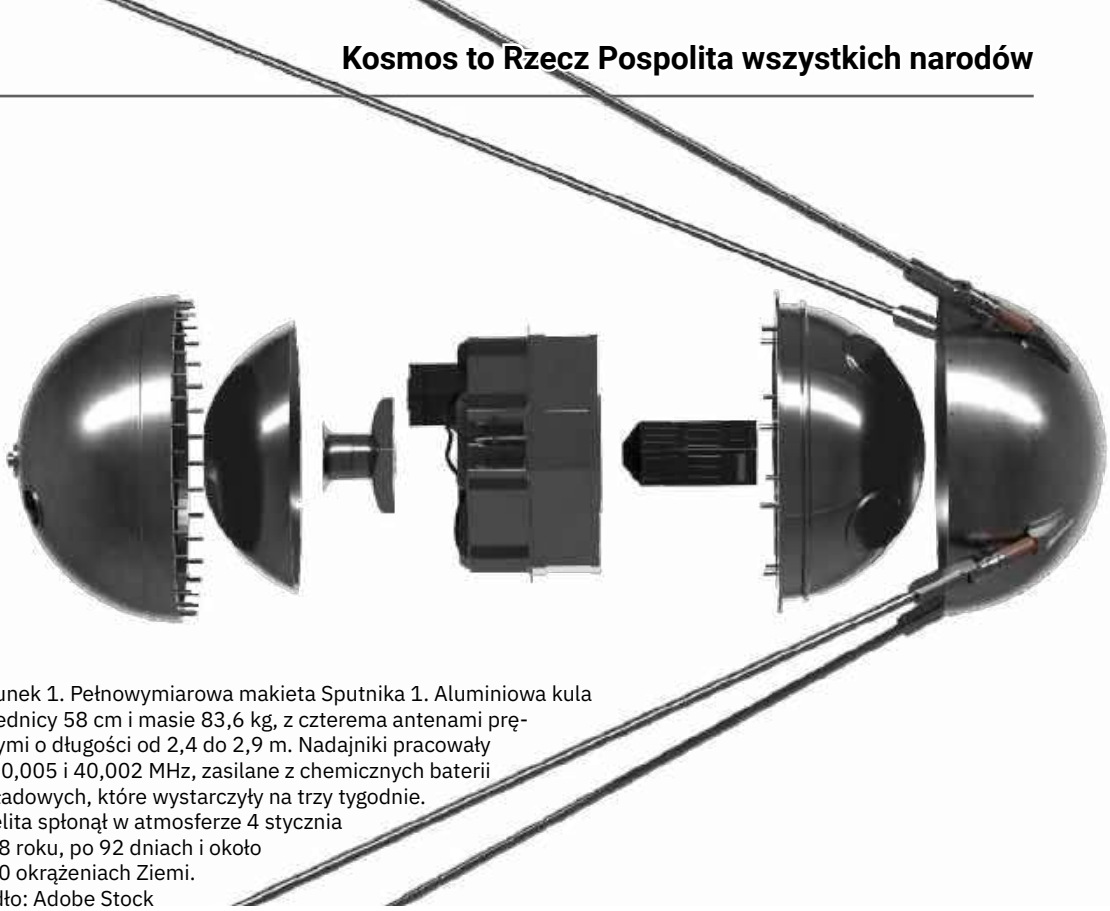
Sygnał, który usłyszał cały świat

4 października 1957 roku radziecka rakieta R-7 wyniosła na orbitę aluminiową kulę o średnicy 58 centymetrów i masie 83,6 kilograma. Sputnik 1 nadawał na dwóch częstotliwościach: 20,005 i 40,002 MHz. To są pasma fal krótkich – dokładnie te, na których pracowali wtedy radioamatorzy na całym świecie i na których nadawały rozgłośnie zagraniczne. Częstotliwości dobrano tak, żeby sygnał dało się odebrać zwykłym odbiornikiem krótkofalowym, i ten zamiar się powiódł: każdy, kto miał taki odbiornik i wiedział, gdzie szukać, słyszał to samo „bip... bip... bip", co inżynierowie na kosmodromie. Nagrania robiono w Wielkiej Brytanii, w Stanach Zjednoczonych, w Polsce.

Pierwszy zbudowany przez człowieka obiekt krążący wokół Ziemi był więc od pierwszej doby dostępny dla wszystkich – na odsłuch. Zbudować go potrafiło jedno państwo.

Cztery miesiące później, 31 stycznia 1958 roku, własnego satelitę Explorer 1 wyniosły Stany Zjednoczone. W kosmosie były tylko dwa państwa i przez następne siedem lat nic się w tej sprawie

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 1. Pełnowymiarowa makieta Sputnika 1. Aluminiowa kula o średnicy 58 cm i masie 83,6 kg, z czterema antenami prętowymi o długości od 2,4 do 2,9 m. Nadajniki pracowały na 20,005 i 40,002 MHz, zasilane z chemicznych baterii pokładowych, które wystarczyły na trzy tygodnie. Satelita spłonął w atmosferze 4 stycznia 1958 roku, po 92 dniach i około 1400 okrążeniach Ziemi.
Źródło: Adobe Stock

nie zmieniło. Trzecia dołączyła Francja – w listopadzie 1965 roku wyniosła satelitę Astérix własną rakietą Diamant. W 1970 roku, w odstępie niecałych dwóch miesięcy, zrobiły to Japonia i Chiny. Tak wyglądał kosmos przez pierwsze kilkanaście lat: krótka lista państw, na którą trudno było się dostać.

Dwie różne odpowiedzi na pytanie „ile państw"

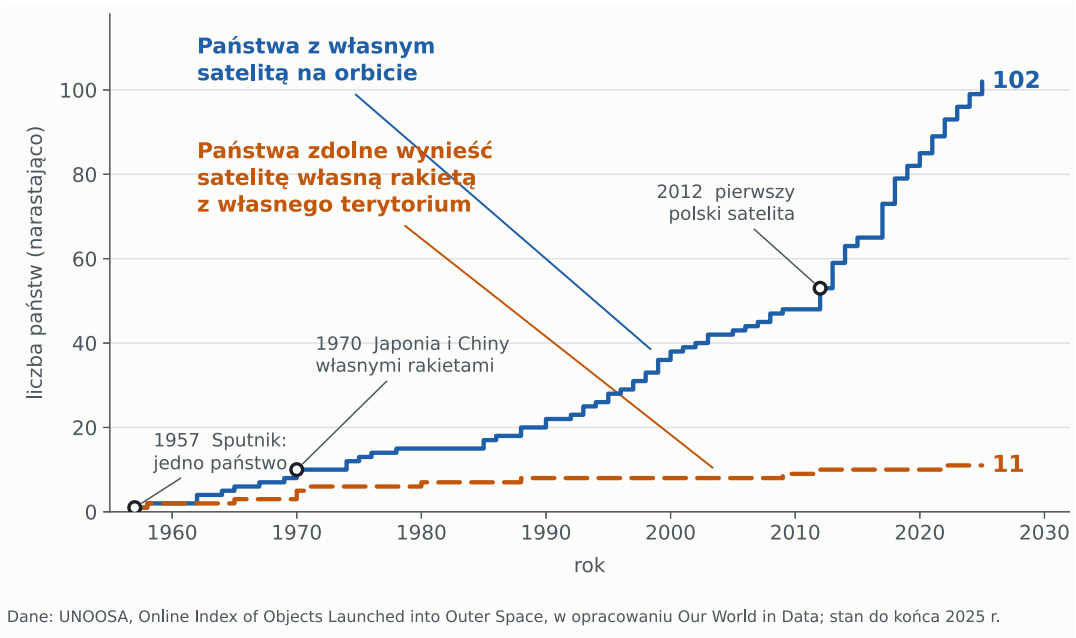
Dziś odpowiedź zależy od tego, o co dokładnie pytamy, a różnica między dwiema możliwymi odpowiedziami jest właściwym tematem tego numeru.

Jeżeli pytamy, ile państw ma na orbicie własnego satelitę – czyli obiekt zarejestrowany na to państwo w rejestrze Organizacji Narodów Zjednoczonych, niezależnie od tego, czyja rakieta go tam wyniosła – to na koniec 2025 roku takich państw było sto dwa. Jeżeli natomiast pytamy, ile państw potrafi wynieść satelitę własną rakietą, startującą z własnego terytorium, to jest ich jedenaście: Rosja jako spadkobierczyni Związku Radzieckiego, Stany Zjednoczone, Francja, Japonia, Chiny, Wielka Brytania, Indie, Izrael, Iran, Korea Północna i – od 2022 roku, po pierwszym udanym starcie rakiety Nuri – Korea Południowa. Wielka Brytania jest w tym zestawieniu przypadkiem osobnym: wyniosła własną rakietą jednego satelitę w 1971 roku, po czym program Black Arrow zamknięto i zdolności tej już nie odzyskała.

Sto dwa do jedenastu. To jest liczbowy zapis tezy, którą chcemy w tym numerze sprawdzić: kosmos stał się rzeczą pospolitą wszystkich narodów w sensie korzystania z niego, ale nie w sensie decydowania o nim.



eprasa.pl 360946405d



Dane: UNOOSA, Online Index of Objects Launched into Outer Space, w opracowaniu Our World in Data; stan do końca 2025 r.

Rysunek 2. Od jednego państwa do stu dwóch. Niebieska krzywa: państwa, które umieściły na orbicie własnego satelitę, niezależnie od tego, czyja rakieta go wyniosła. Pomarańczowa: państwa, które wyniosły satelitę własną rakietą z własnego terytorium. Wykres redakcyjny na podstawie danych UNOOSA w opracowaniu Our World in Data, stan do końca 2025 roku

Wrzesień 2026: Grand Palais

9 i 10 września 2026 roku w paryskim Grand Palais odbył się pierwszy w historii Międzynarodowy Szczyt Kosmiczny. Zaproszono przedstawicieli 120 państw; gospodarz, czyli prezydencja Francji, naliczył dziewięćdziesiąt delegacji państw i organizacji międzynarodowych, około sześćdziesięciu szefów państw, szefów rządów lub ministrów oraz blisko 1100 firm. Przyjęto deklarację Unii Europejskiej „Europa jako mocarstwo kosmiczne XXI wieku". Polska ją podpisała – delegacji przewodził wiceminister rozwoju i technologii – a obok niej złożyła podpis pod apelem o europejską eksplorację kosmosu, który poparły dwadzieścia trzy państwa europejskie i Kanada.



Gdyby na tym poprzestać, wyszłaby z tego ładna historia o jednoczeniu się ludzkości. Tyle że ze szczytu wycofały się cztery duże firmy amerykańskie: SpaceX, Blue Origin, Stoke Space i Starcloud. Zrobiły to po tym, jak Biały Dom dał im nieformalnie do zrozumienia, że obecność w Paryżu mogłaby zostać odczytana jako poparcie dla stanowiska Unii Europejskiej. Spór dotyczy przygotowywanego unijnego prawa kosmicznego i konstelacji łącznościowej IRIS^2, które administracja amerykańska uważa za praktyki antykonkurencyjne.

To pęknięcie nie psuje tytułu tego numeru. Ono go tłumaczy. Rzecz pospolita – po łacinie res publica – to rzecz wspólna, a nie rzecz bezsporna. Przeciwnie: o rzeczy wspólne spiera się najostrzej, bo jest o co.

Trzy znaczenia słowa „wszyscy"

W tym numerze słowo „wszyscy" będzie się pojawiać w trzech różnych znaczeniach i warto je od razu rozdzielić. Wszyscy korzystają – z nawigacji satelitarnej, z prognozy pogody, z łączności, z obrazów radarowych, na których widać ruchy gruntu pod naszymi miastami. Nieliczni budują – satelity, rakiety, przyrządy pomiarowe,

eprasa.pl 360946405d

oprogramowanie. A garstka decyduje – o tym, czyje rakiety latają, kto ma prawo wydobywać surowce na Księżycu i co wolno umieścić na orbicie.

Pierwsze z tych znaczeń jest najbardziej niedoceniane, więc dostanie w tym numerze najwięcej miejsca. Kiedy telefon pokazuje pozycję, w rzeczywistości mierzy czas – i to samo robi zabezpieczenie w sieci energetycznej oraz system rozliczeń w banku. Utrata sygnału satelitarnego kosztowałaby gospodarkę amerykańską około miliarda dolarów dziennie, a brytyjski rząd, który właśnie buduje zapasowy ośrodek czasu z zegarami atomowymi, szacuje własne straty na 1,4 miliarda funtów w ciągu doby. Te liczby dotyczą wyłącznie sygnału czasu. Pozycjonowanie jest przy nich skutkiem ubocznym.



Co dalej w tym numerze

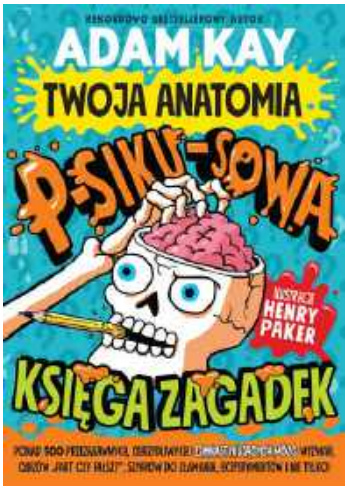
Zaczniemy od fizyki, bez której cała reszta jest magią: dlaczego kosmos to nie wysokość, tylko prędkość, i skąd się bierze tyrania masy paliwa. Potem zajrzymy do silnika rakietowego i przejdziemy przez flotę nośników, jaką świat dysponuje w 2026 roku. Największy rozdział poświęcimy orbitalnej infrastrukturze, z której czytelnik korzysta codziennie, nic o niej nie wiedząc. Dalej: człowiek na orbicie i koniec Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, powrót na Księżyc w dwóch konkurencyjnych wersjach, roboty pracujące od kilkudziesięciu lat, wreszcie ciemna strona orbity: śmieci, których nikt nie sprząta, broń, która te śmieci mnoży, i porządek prawny, którego wciąż nie ma. Na koniec sprawdzimy, gdzie w tym wszystkim jest Polska.

Polski wątek zaczyna się zresztą wcześniej, niż mogłoby się wydawać, i nie od satelity. Przyrządy zbudowane w Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk latały do komety 67P/Czuriumow-Gierasimienko, na Marsa i ku Merkuremu, zanim Polska wyniosła cokolwiek własnego. Pierwszy polski satelita – studencki PW-Sat z Politechniki Warszawskiej – poleciał dopiero w lutym 2012 roku, w dziewiczym locie europejskiej rakiety Vega. W tym samym roku Polska przystąpiła do Europejskiej Agencji Kosmicznej jako dwudzieste państwo członkowskie.

Sygnał Sputnika mógł odebrać każdy, kto miał odbiornik. To się nie zmieniło. Zmieniła się tylko liczba rzeczy, które można odebrać – i liczba państw, które mają co nadawać. ■

Twoja anatomia: Psikusowa księga zagadek
Adam Kay
Wydawnictwo: Insignis, stron: 240, sugerowana cena: 44,99 zł

Ponad 500 przezabawnych, obrzydliwych i gimnastykujących mózg wyzwań, quizów „Fakt czy fałsz?", szyfrów do złamania, eksperymentów i nie tylko! Podchwytliwe łamigłówki. Przepisy, od których robi się niedobrze. Wyjątkowe eksperymenty. Zmyślne szyfry. Aż 144 nowych pytań „fakt czy fałsz". Gwarantowana nagroda 2 000 000 000 zł*. Jaki jest twój najmniejszy mięsień? Czy smakowałaby ci zupa z flegmy? Jak możesz urwać się ze szkoły, udając, że masz gips? Autor „Twojej anatomii" powraca z najśmieszniejszą, najbardziej napakowaną faktami i najobrzydliwszą książką z łamigłówkami o ludzkim ciele, jaką kiedykolwiek napisano. Mnóstwo wyzwań, śmiechu i zabawy dla każdego w wieku od 7 do 739 lat!
* Mój prawnik, Nigel, poprosił mnie, żebym wyraźnie zaznaczył, że w żadnym razie nie jest to gwarantowane.



eprasa.pl 360946405d



Elementarz: dlaczego lot w kosmos jest trudny

Zanim przejdziemy do tego, kto dziś lata i po co, trzeba odpowiedzieć na pytanie dlaczego to jest takie trudne. Odpowiedź daje się streścić w jednym zdaniu – bo kosmos to nie jest miejsce, do którego się wjeżdża, tylko prędkość, którą trzeba osiągnąć. Wszystko, co dalej w tym numerze przeczytacie o rakietach, satelitach i lądownikach, wynika z kilku prostych zależności fizycznych. Warto je poznać, bo potem czyta się doniesienia z kosmosu zupełnie inaczej.

eprasa.pl 360946405d

Kosmos to nie wysokość, tylko prędkość

Za umowną granicę kosmosu przyjmuje się wysokość 100 kilometrów nad powierzchnią Ziemi. Jest to granica czysto umowna i niewiele znaczy, bo sama wysokość niczego nie załatwia. Gdyby zbudować rakietę, która wznosi się pionowo do góry na wysokość 400 kilometrów, wyłącza silnik i nic więcej nie robi, to ta rakieta natychmiast zacznie spadać i kilka minut później wróci na Ziemię. Żeby na orbicie zostać, trzeba poruszać się w bok – i to bardzo szybko, aby siła odśrodkowa równoważyła siłę ciążenia.

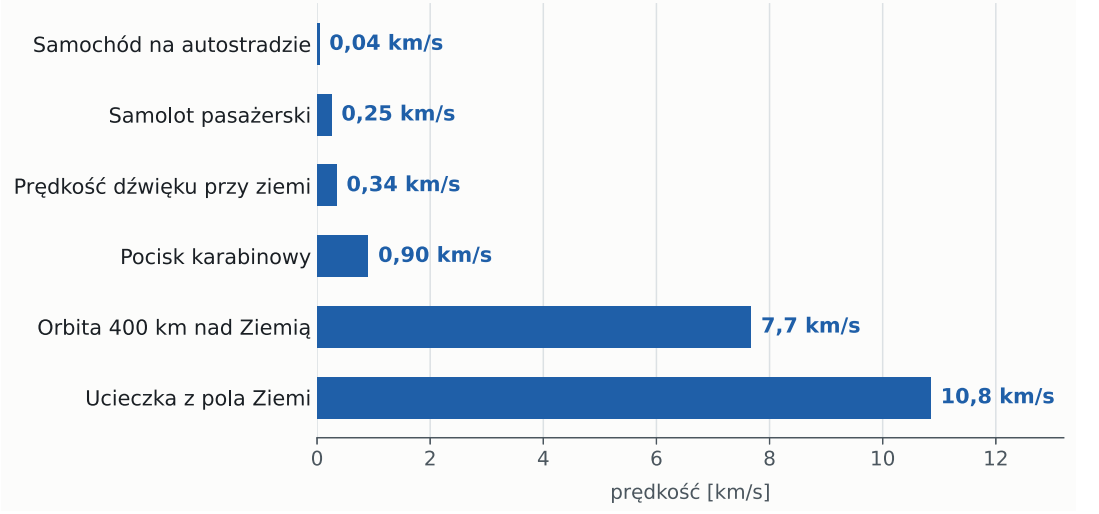
Krążenie po orbicie polega na tym, że obiekt spada w kierunku Ziemi przez cały czas, ale porusza się do przodu tak szybko, że Ziemia zdąża uciec spod niego swoją krzywizną. Ile to znaczy „bardzo szybko", pokazuje **rysunek 3**. Na wysokości 400 kilometrów, czyli tam, gdzie krąży Międzynarodowa Stacja Kosmiczna, prędkość orbitalna wynosi 7,7 kilometra na sekundę. To jest blisko dziewięć razy więcej niż prędkość pocisku wylatującego z lufy karabinu i ponad dwadzieścia dwa razy więcej niż prędkość dźwięku przy ziemi. Stacja obiega Ziemię w nieco ponad półtorej godziny – dokładnie w dziewięćdziesiąt dwie minuty.

Druga liczba na tym rysunku to prędkość ucieczki: 10,8 kilometra na sekundę na wysokości orbity stacji kosmicznej. Obiekt, który ją osiągnie, przestaje krążyć wokół Ziemi i odlatuje, żeby krążyć wokół Słońca. Różnica między krążeniem a ucieczką jest zaskakująco mała – wystarczy pomnożyć prędkość orbitalną przez pierwiastek z dwóch. Mamy więc dwie prędkości kosmiczne: około ośmiu kilometrów na sekundę, żeby krążyć wokół Ziemi, oraz około jedenastu, żeby się od niej oderwać i krążyć w przestrzeni międzyplanetarnej wokół Słońca. Jest jeszcze trzecia prędkość kosmiczna – około siedemnastu kilometrów na sekundę – żeby wyrwać się z pola przyciągania Słońca i podążyć ku innym gwiazdom.

Tyrania masy paliwa

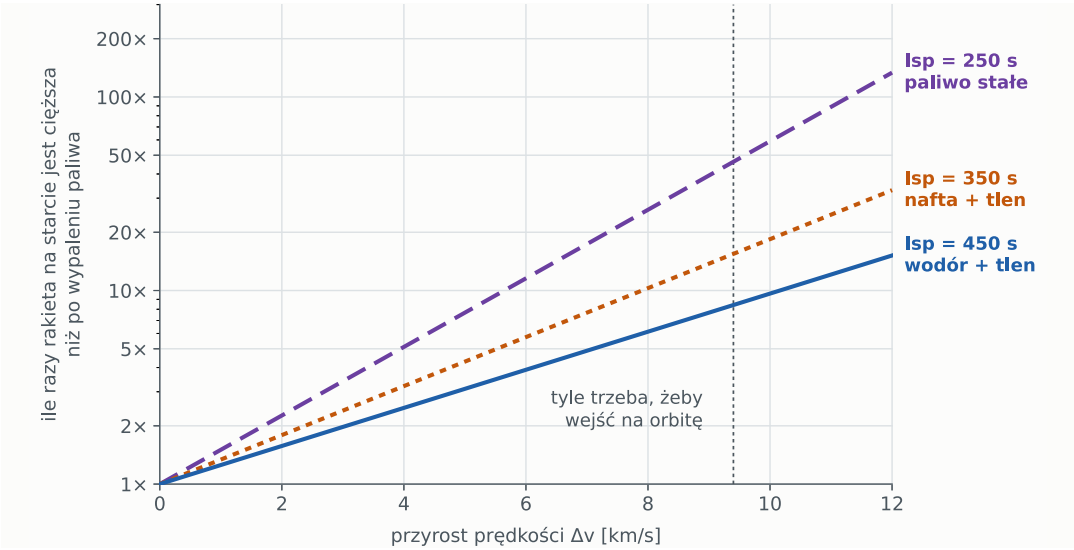
Rakieta rozpędza się, wyrzucając do tyłu masę – spaliny. Zależność, która wiąże przyrost prędkości rakiety z ilością zużytego paliwa, sformułował w 1903 roku Konstantin Ciołkowski i nosi ona dziś jego imię. W słowach brzmi tak: przyrost prędkości równa się prędkości wylotowej spalin pomnożonej przez logarytm naturalny ze stosunku masy początkowej rakiety do masy końcowej.

Kluczowe jest w tym zdaniu słowo „logarytm", a właściwie to, co z niego wynika po odwróceniu zależności. Żeby uzyskać dwa razy większy przyrost prędkości, nie wystarczy zabrać dwa razy więcej paliwa – trzeba zabrać go tyle, żeby stosunek mas podniósł się do kwadratu. **Rysunek 4** pokazuje, jak szybko robi się z tego problem. Przy paliwie naftowo-tlenowym, którym napędza się większość pierwszych stopni, wejście na orbitę wymaga, żeby rakieta na starcie



Rysunek 3. Prędkość potrzebna do utrzymania się na orbicie 400 km nad Ziemią jest o rząd wielkości większa od wszystkiego, co potrafimy rozpędzić na powierzchni planety

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 4. Równanie Ciołkowskiego. Im lepsze paliwo, tym łagodniejsza krzywa – ale zawsze jest to krzywa wykładnicza, a nie prosta. Symbol Isp oznacza impuls właściwy, czyli miarę jakości paliwa: im wyższy, tym więcej pchnięcia daje kilogram wyrzuconych spalin. Oś pionowa w skali logarytmicznej

była około szesnaście razy cięższa niż po wypaleniu paliwa. Przy paliwie stałym – blisko pięćdziesiąt razy.

Impuls właściwy, oznaczany skrótem Isp od angielskiego specific impulse i podawany w sekundach, to miara jakości paliwa. Można go rozumieć tak: mówi, jak długo kilogram paliwa jest w stanie wytwarzać ciąg o wartości jednego kilograma siły. Wodór z tlenem dają około 450 sekund w próżni, nafta z tlenem około 350, paliwo stałe około 250...280. Te kilkadziesiąt sekund różnicy przekłada się na dziesiątki ton masy startowej – i właśnie dlatego konstruktorzy silników walczą o każdą sekundę impulsu właściwego, o czym będzie mowa w części poświęconej napędom.

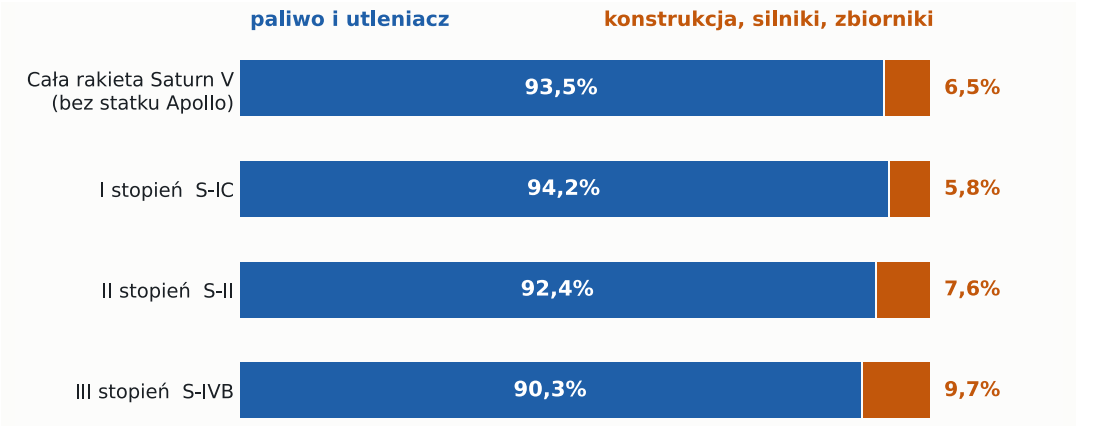
Dlatego rakieta jest wielostopniowa

Skoro masa jest wrogiem, to każdy kilogram pustego zbiornika, który rakieta wlecze ze sobą już po opróżnieniu, kosztuje. Stąd wielostopniowość: kiedy paliwo z pierwszego stopnia się kończy, cała konstrukcja tego stopnia – zbiorniki, silniki, pompy, instalacje – zostaje odrzucona i dalej leci już tylko to, co jeszcze do czegoś służy.

Jak bardzo rakieta jest w istocie zbiornikiem paliwa z doczepionym ładunkiem, pokazuje **rysunek 5**, sporządzony na podstawie instrukcji lotu Saturna V. Cała rakieta bez statku Apollo ważyła na starcie prawie 2880 ton,



eprasa.pl 360946405d



Rysunek 5. Z czego naprawdę składa się rakieta. Proporcja jest wszędzie taka sama: dziewięć dziesiątych masy startowej to paliwo. Masy według instrukcji lotu Saturna V (NASA, dokument SA-507); udziały procentowe obliczone redakcyjnie

z czego 2693 tony, czyli 93,5 procent, stanowiły paliwo i ciekły tlen. Co ważniejsze, ta proporcja powtarza się na każdym poziomie: pierwszy stopień to w 94,2 procentach paliwo, drugi w 92,4, trzeci w 90,3. Konstrukcja, silniki, zbiorniki i cała elektronika mieszczą się

Prawo Ciołkowskiego

Prawo Ciołkowskiego (nazywane też wzorem Ciołkowskiego) to podstawowa zasada matematyczna, która wyjaśnia, jak działają rakiety. Pokazuje ona, od czego zależy maksymalna prędkość, jaką może osiągnąć rakietowy pojazd kosmiczny.

Wzór ten w 1903 roku opublikował Konstantin Ciołkowski, skromny rosyjski nauczyciel, który dziś jest uważany za ojca kosmonautyki.

Podstawowy wzór

Wzór Ciołkowskiego wygląda następująco:

$$\Delta v = v_e \cdot ln\left(\frac{m_0}{m_f}\right)$$

Brzmi skomplikowanie? Rozbijmy to na proste kawałki:

Δv (delta fau): To całkowita zmiana prędkości, jaką może uzyskać rakieta. Im większa Δv, tym dalej w kosmos może polecieć rakieta (np. aby dolecieć na Księżyc, potrzebujemy konkretnej wartości Δv).

ve (prędkość wylotowa gazów): To prędkość, z jaką gaz (ogień i dym) ucieka z dyszy silnika rakietowego. Zależy ona od jakości paliwa i konstrukcji silnika. Im szybszy wydech, tym lepiej.

ln (logarytm naturalny): To funkcja matematyczna. W tym wzorze oznacza ona, że aby liniowo (równomiernie) zwiększać prędkość rakiety, musimy dodawać paliwo w sposób wykładniczy (coraz więcej i więcej).

m_0 (masa początkowa): Całkowita masa rakiety na starcie – czyli sama rakieta, satelita na czubku oraz pełne zbiorniki paliwa.

m_f (masa końcowa): Masa rakiety po wypaleniu całego paliwa – czyli pusta konstrukcja i satelita.

Jak to działa? Analogia z deskorolką

Wyobraź sobie, że stoisz na deskorolce i masz w rękach ciężki worek z kamieniami (to twoje paliwo).

Rzucasz jednym kamieniem mocno w tył.

Zgodnie z zasadą akcji i reakcji, Ty i deskorolka przesuniecie się nieco do przodu.

Jeśli chcesz jechać szybciej, musisz rzucać kamieniami mocniej (wyższa prędkość wylotowa ve).

Musisz też mieć dużo kamieni (duża masa początkowa m0). Jednak im więcej masz kamieni, tym trudniej ruszyć na samym początku, bo cała „rakieta” (Ty i worek) jest bardzo ciężka.

Brutalna prawda o rakietach (Klątwa Ciołkowskiego)

Z powodu logarytmu we wzorze, rakiety mają ogromny problem z masą. Jeśli chcesz, żeby rakieta leciała dwa razy szybciej, nie wystarczy dołożyć dwa razy więcej paliwa. Musisz go dołożyć znacznie, znacznie więcej.

Dlatego prawdziwe rakiety to w rzeczywistości ogromne, latające zbiorniki paliwa.

Paliwo stanowi zazwyczaj około dziewięćdziesięciu procent całej masy rakiety na starcie.

Sam statek, ludzie i komputery to zaledwie kilka procent masy.

eprasa.pl 360946405d

w kilku procentach, a ładunek – w ułamku procenta masy startowej.

Ta arytmetyka tłumaczy, dlaczego przez pół wieku start rakiety był jednorazowym wydarzeniem: odrzucane stopnie po prostu spadały do oceanu. Tłumaczy też, dlaczego odzyskiwanie pierwszego stopnia tak mocno zmieniło rachunek ekonomiczny lotów kosmicznych – ale to już temat części o rakietach.

Cennik Układu Słonecznego

Inżynierowie planujący misje kosmiczne nie liczą kilometrów, tylko przyrost prędkości potrzebny do wykonania poszczególnych manewrów. Ten przyrost oznacza się symbolem Δv, czytanym „delta fau". Δv jest w lotach kosmicznych tym, czym pieniądze w podróży: rakieta ma go określony zapas, każdy manewr kosztuje pewną jego część, a gdy zapas się skończy, dalej nie można już nic zrobić.

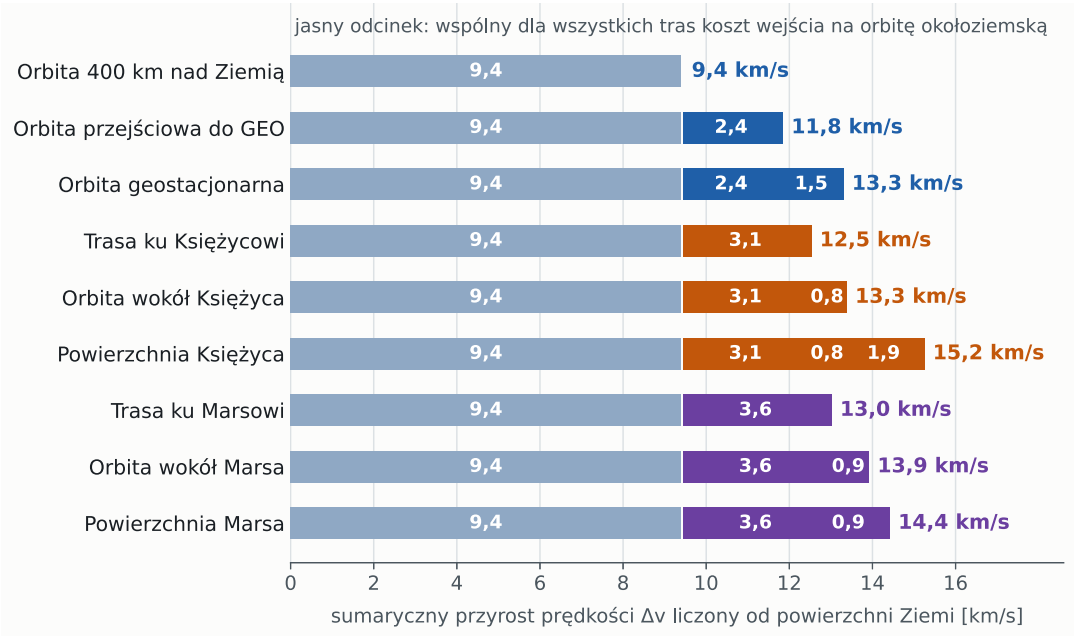
Rysunek 6 przedstawia ten cennik dla kilku najczęściej wymienianych celów. Pierwsza pozycja jest najdroższa i wspólna dla wszystkich tras: wejście na niską orbitę okołoziemską kosztuje około 9,4 kilometra na sekundę. Sama prędkość orbitalna to tylko 7,7 – reszta przepada po drodze. Część zjada grawitacja, bo przez pierwsze minuty lotu rakieta pnie się pionowo i musi nieustannie płacić za samo wznoszenie się ponad powierzchnię Ziemi; część pochłania opór atmosfery w gęstych warstwach tuż nad ziemią.

Z tego zestawienia wynika wniosek, który dla wielu czytelników może być zaskoczeniem. Wyjście na niską orbitę okołoziemską pochłania mniej więcej dwie trzecie całego przyrostu prędkości potrzebnego, żeby wylądować na Księżycu. Innymi słowy: z powierzchni Ziemi na orbitę jest energetycznie dalej niż z orbity na Księżyc. Kiedy statek już raz krąży wokół Ziemi, najtrudniejsza energetycznie część podróży jest za nim.

Warto też zauważyć, jak tanie okazuje się lądowanie na Marsie w porównaniu z lądowaniem na Księżycu. Powód jest prosty: Mars ma atmosferę, więc znaczną część prędkości można wytracić hamując o gaz atmosfery Marsa, za darmo. Księżyc atmosfery nie ma i każdy metr na sekundę trzeba tam wyhamować silnikiem, płacąc paliwem.

Rodziny orbit – każda do czegoś innego

Satelity nie krążą tam, gdzie akurat wypadnie, tylko na orbitach dobranych do zadania. **Rysunek 7** pokazuje najważniejsze z nich w skali.



Rysunek 6. Cennik Układu Słonecznego, liczony w przyroście prędkości. Jasny odcinek na początku każdego wiersza to wspólny dla wszystkich tras koszt wyjścia na orbitę okołoziemską. Wartości obliczone redakcyjnie dla idealnych przejść impulsowych; w przypadku Marsa uwzględniono hamowanie w jego atmosferze

eprasa.pl 360946405d

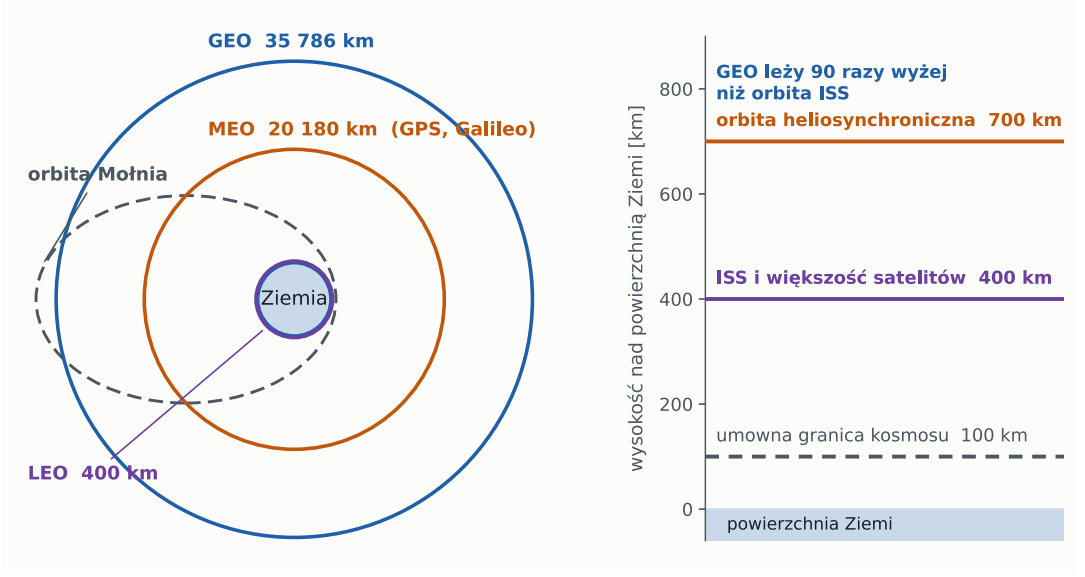
Niska orbita okołoziemska, oznaczana skrótem LEO od angielskiego Low Earth Orbit, to wszystko poniżej dwóch tysięcy kilometrów. Krąży tam Międzynarodowa Stacja Kosmiczna, satelity obserwacyjne i megakonstelacje łącznościowe. Zaleta: blisko, więc tanio i z małym opóźnieniem sygnału. Wada: satelita przelatuje nad danym punktem w kilka minut, więc żeby mieć łączność bez przerw, trzeba ich mieć tysiące.

Szczególnym przypadkiem niskiej orbity jest orbita heliosynchroniczna, w skrócie SSO od angielskiego Sun-Synchronous Orbit, na wysokości mniej więcej 600–800 kilometrów. Jest tak dobrana, żeby płaszczyzna orbity obracała się w ciągu roku dokładnie tak samo jak kierunek na Słońce. Skutek jest praktyczny: satelita przelatuje nad każdym miejscem zawsze o tej samej godzinie czasu słonecznego, więc zdjęcia z różnych dni mają to samo oświetlenie i dają się porównywać. Na takich orbitach pracują satelity obserwacji Ziemi, o których będzie mowa w części o infrastrukturze orbitalnej.

Wyżej, na wysokości około 20 tysięcy kilometrów, leży orbita średnia, oznaczana skrótem MEO od angielskiego Medium Earth Orbit, po której krążą satelity nawigacyjne: amerykański GPS, od angielskiego Global Positioning System, europejski Galileo, rosyjski GLONASS, od Globalnoj nawigacionnoj sputnikowoj sistiemy, i chiński BeiDou. Okres obiegu wynosi tam prawie dokładnie dwanaście godzin, dzięki czemu każdy satelita wraca nad to samo miejsce dwa razy na dobę, a z powierzchni Ziemi widać ich jednocześnie kilka – co jest warunkiem koniecznym, żeby odbiornik mógł wyznaczyć pozycję.

Na wysokości 35 786 kilometrów okres obiegu równa się dobie. Satelita umieszczony na takiej orbicie nad równikiem obiega Ziemię dokładnie tak szybko, jak Ziemia obraca się pod nim, więc z powierzchni wygląda na nieruchomy. To orbita geostacjonarna, w skrócie GEO od angielskiego GEostationary Orbit: stąd nadaje telewizja satelitarna i stąd meteorolodzy oglądają całą tarczę planety naraz. Antena naziemna może być nieruchoma, raz ustawiona na jeden punkt nieba.

Orbita geostacjonarna ma jednak wadę, która dla Rosji czy Kanady jest poważna: leży nad równikiem, więc widać ją z wysokich szerokości geograficznych nisko nad horyzontem albo wcale. Rozwiązaniem jest orbita nazwana od serii radzieckich satelitów łącznościowych Mołnia – mocno wydłużona elipsa, której najdalszy punkt leży nad półkulą północną. Satelita porusza się najwolniej (w sensie szybkości kątowej) właśnie w okolicach tego najdalszego punktu, więc przez kilka godzin każdego obiegu wisi niemal nieruchomo wysoko nad Syberią albo nad Kanadą.



Rysunek 7. Rodziny orbit. Panel po lewej narysowany w skali – widać, jak blisko powierzchni krąży większość satelitów i jak daleko leży orbita geostacjonarna. Panel po prawej to powiększenie okolic Ziemi. Wysokości podano nad powierzchnią planety

eprasa.pl 360946405d

Orbita heliosynchroniczna: jak to działa

Orbita heliosynchroniczna (często nazywana SSO od angielskiego Sun-Synchronous Orbit) to specjalna, niska orbita wokółziemska, na której satelita przelatuje nad dowolnym punktem na powierzchni Ziemi zawsze przy tym samym oświetleniu słonecznym (o tej samej godzinie czasu słonecznego).

Oto proste wyjaśnienie, jak działa orbita SSO i dlaczego jest tak ważna.

Wyobraź sobie, że jesteś fotografem i chcesz zrobić zdjęcia różnych miast na świecie, ale zależy ci, aby na każdym zdjęciu cienie budynków układały się dokładnie tak samo (np. w porannym słońcu o 10:00).

Gdybyś latał zwykłą orbitą, raz byłbyś nad Warszawą w południe, a innym razem w środku nocy. Satelita na orbicie SSO porusza się jednak tak, że jego obrót jest idealnie zsynchronizowany z ruchem Ziemi wokół Słońca. Dzięki temu nad każdym miastem melduje się zawsze o tej samej godzinie lokalnej.

Jak to jest możliwe? (Efekt „Wybrzuszenia Ziemi")

Ziemia nie jest idealną kulą – jest nieco „rozlana" na równiku (ma tam wybrzuszenie). Grawitacja tego wybrzuszenia działa na satelitę jak delikatna siła, która powoli „obraca" całą jego orbitę.

Inżynierowie kosmiczni wykorzystują to zjawisko:

Ustawiają płaszczyznę orbity satelity pod odpowiednim kątem (zwykle około 98 stopni względem płaszczyzny równika – jest to tzw. orbita wsteczna).

W mechanice orbitalnej ten kąt nazywa się fachowo inklinacją (czyli nachyleniem orbity).

Oto jak to wygląda w praktyce:

0 stopni (orbita równikowa): Satelita leci idealnie nad równikiem. Jego płaszczyzna orbity pokrywa się z płaszczyzną równika.

90 stopni (orbita polarna): Satelita leci idealnie nad biegunem północnym i południowym. Jego płaszczyzna orbity jest prostopadła do płaszczyzny równika.

Około 98 stopni (orbita heliosynchroniczna – SSO): Płaszczyzna orbity jest odchylona od bieguna o kilka stopni „wstecz" (pod prąd obrotu Ziemi).

To precyzyjne pochylenie płaszczyzny orbity sprawia, że asymetryczna siła grawitacji Ziemi (wywołana wspomnianym wybrzuszeniem na równiku) zaczyna powoli „obracać" całą tę płaszczyznę w przestrzeni. Projektanci satelitów dobierają ten kąt tak idealnie, aby płaszczyzna orbity obracała się o 360 stopni w ciągu jednego roku, czyli dokładnie 1 stopień dziennie na wschód. To idealnie tyle samo, o ile Ziemia przesuwa się w ciągu dnia na swojej drodze wokół Słońca!

Dzięki temu orbita zachowuje stały kąt względem promieni słonecznych.

Dobierają też odpowiednią wysokość (najczęściej od 600 do 800 kilometrów nad Ziemią).

Dlaczego ta orbita jest tak popularna?

Stałe warunki oświetlenia: Satelity meteorologiczne i szpiegowskie mogą łatwo porównywać zdjęcia tego samego miejsca zrobione w odstępie tygodni czy miesięcy. Ponieważ słońce świeci pod tym samym kątem, zmiany na zdjęciach wynikają z rzeczywistych zmian na Ziemi (np. wycięcie lasu, budowa fabryki), a nie z innych cieni.

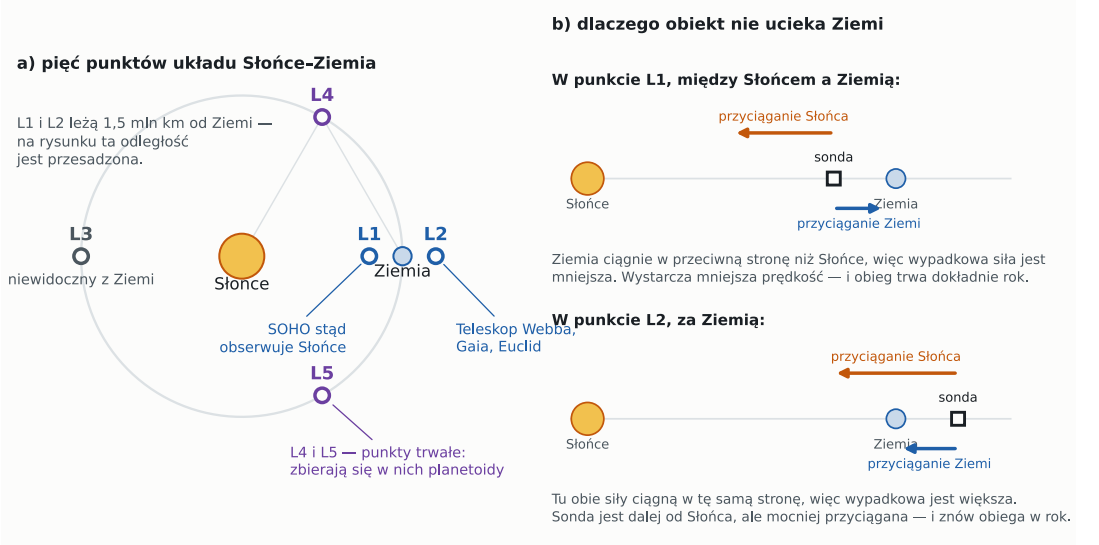
Stały dostęp do energii: Niektóre satelity SSO latają wzdłuż tzw. „linii terminatora" (granicy dnia i nocy). Oznacza to, że satelita praktycznie nigdy nie wchodzi w cień Ziemi – jego panele słoneczne cały czas generują prąd.

Pięć miejsc, w których nic nie ucieka

Zacznijmy od kłopotu, który te punkty rozwiązują. Im bliżej Słońca krąży ciało, tym szybciej musi się poruszać i tym krócej trwa jego rok: Merkury obiega Słońce w osiemdziesiąt osiem dni, Ziemia w trzysta sześćdziesiąt pięć. Gdybyśmy więc umieścili sondę na orbicie odrobinę bliższej Słońcu niż orbita Ziemi, sonda krążyłaby wokół Słońca szybciej, uciekłaby Ziemi do przodu i po kilku miesiącach znalazłaby się po przeciwnej stronie Słońca. Dla obserwatorium, które ma stale patrzeć na Słońce i ostrzegać Ziemię przed burzą słoneczną, byłoby to złe rozwiązanie.

Ratunkiem jest to, że Ziemia również przyciąga. Sonda umieszczona między Słońcem a Ziemią jest ciągnięta przez Słońce do środka, ale Ziemia ciągnie ją w stronę przeciwną. Wypadkowa siła, która utrzymuje sondę na okrężnym torze, jest więc mniejsza niż samo przyciąganie Słońca – a mniejsza siła oznacza, że do utrzymania się

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 8. Punkty Lagrange'a układu Słońce–Ziemia. Po lewej rozmieszczenie wszystkich pięciu: orbita Ziemi narysowana w skali, położenia L1 i L2 celowo przesadzone, bo w rzeczywistości leżą one około 1,5 miliona kilometrów od Ziemi, czyli sto razy bliżej niż Słońce. Po prawej mechanizm: w L1 przyciąganie Ziemi odejmuje się od przyciągania Słońca, w L2 dodaje – i w obu przypadkach obieg trwa dokładnie rok

na tej orbicie wystarcza mniejsza prędkość. Istnieje dokładnie jedna odległość od Ziemi, przy której to osłabienie jest akurat takie, żeby obieg trwał równo rok, czyli tyle samo co u Ziemi. Ta odległość wynosi około półtora miliona kilometrów, a odpowiadające jej miejsce nazywa się punktem L1. Sonda nie ucieka Ziemi do przodu, bo Ziemia ją przyhamowuje.

Po drugiej stronie, za Ziemią, rzecz wygląda odwrotnie i prowadzi do tego samego wyniku. Sonda jest tam dalej od Słońca, więc normalnie krążyłaby wolniej i zostawałaby w tyle. Tym razem jednak Ziemia ciągnie ją w tę samą stronę co Słońce, więc wypadkowa siła jest większa, a większa siła wymaga większej prędkości. Znowu istnieje jedna odległość – również około półtora miliona kilometrów – przy której obieg trwa równo rok. To jest punkt L2. Oba przypadki pokazuje prawa część **rysunku 8**.

Trzeci punkt, L3, leży po przeciwnej stronie Słońca niż Ziemia. Z tej odległości przyciąganie Ziemi jest już znikome, więc L3 wypada niemal dokładnie naprzeciw naszej planety. Jest to miejsce z Ziemi niewidoczne, bo stale zasłonięte przez Słońce, i jak dotąd nikt go do niczego nie wykorzystał.

Punkty L4 i L5 leżą na samej orbicie Ziemi: sześćdziesiąt stopni przed planetą i sześćdziesiąt stopni za nią. Ziemia, Słońce i taki punkt tworzą trójkąt równoboczny. Wypadkowa przyciągania Słońca i Ziemi kieruje się tam dokładnie ku wspólnemu środkowi masy obu ciał i ma akurat taką wartość, żeby obieg trwał rok.

Pięć punktów dzieli się na dwie grupy o zupełnie różnym charakterze i to jest najważniejsza rzecz do zapamiętania. Punkty L1, L2 i L3 są niestabilne. Obiekt zachowuje się tam jak kulka położona na szczycie grzbietu: najmniejsze zaburzenie – ciśnienie światła słonecznego, przyciąganie Księżyca – powoduje, że zaczyna się zsuwać i po kilku tygodniach odpłynąłby bezpowrotnie. Dlatego sondy pracujące w L1 i L2 muszą co jakiś czas korygować tor, zużywając paliwo. Zapas tego paliwa wyznacza czas życia misji: Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba ma go dziś na ponad dwadzieścia lat, głównie dlatego, że rakieta wypuściła go wyjątkowo celnie i pierwsze korekty wypadły tańsze, niż zakładano.

Punkty L4 i L5 zachowują się odwrotnie: obiekt jest tam jak kulka w misce. Zepchnięty z miejsca, sam do niego wraca, zataczając powolną pętlę. Nie trzeba go niczym korygować – i właśnie dlatego zbierają się tam ciała, które kiedyś tam trafiły. Przy Jowiszu jest ich kilkanaście tysięcy i nazywa się je trojańczykami.

Na koniec szczegół, który tłumaczy, dlaczego teleskop Webba w ogóle działa. Sondy nie stoją w samym punkcie, tylko zataczają wokół

eprasa.pl 360946405d



niego szerokie pętle, zwane orbitami halo. W punkcie L2 jest to konieczne: sonda stojąca dokładnie w nim miałaby Ziemię niemal idealnie na linii do Słońca, a więc znajdowałaby się w stałym półcieniu i panele słoneczne nie miałyby z czego wytwarzać prądu. Krążąc wokół punktu w odległości kilkuset tysięcy kilometrów, teleskop widzi Słońce obok Ziemi, ale nadal ma Słońce, Ziemię i Księżyc po tej samej stronie. Dzięki temu wystarcza mu jedna osłona, żeby odciąć się od ciepła ich wszystkich naraz i wychłodzić przyrządy do kilkudziesięciu stopni powyżej zera bezwzględnego. Po przeciwnej stronie, w punkcie L1, ustawia się obserwatoria Słońca, na przykład sondę SOHO – mają je w polu widzenia bez przerwy, więc jako pierwsze widzą nadciągającą burzę słoneczną.

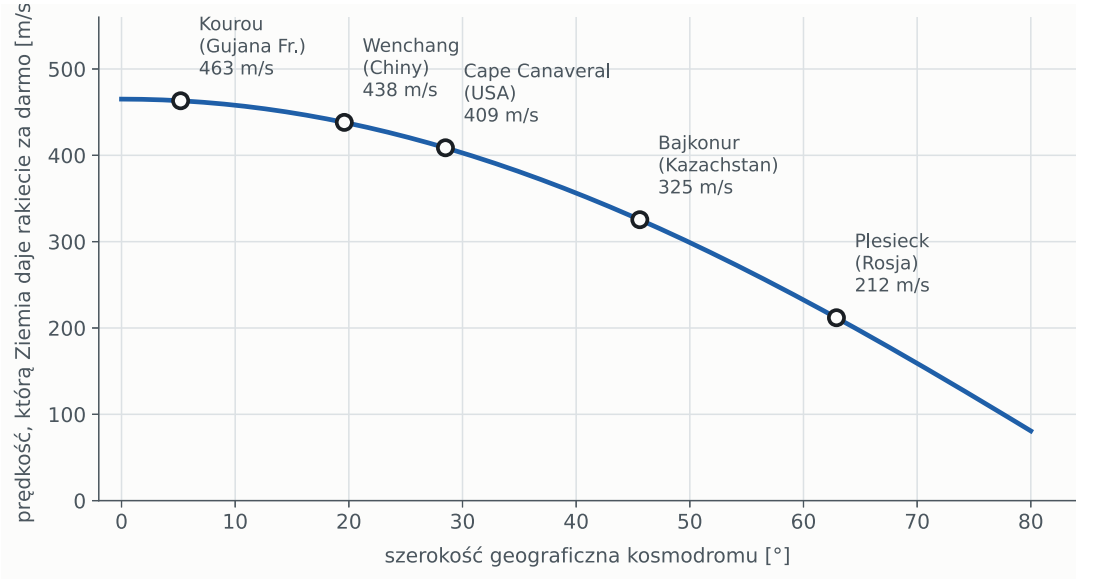
Okno startowe i dlaczego kosmodromy leżą blisko równika

Rakieta nie startuje wtedy, kiedy jest gotowa, tylko wtedy, kiedy pozwala na to mechanika nieba. Żeby dolecieć do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, trzeba wystartować w momencie, gdy płaszczyzna jej orbity przechodzi nad kosmodromem – takie okno otwiera się mniej więcej raz na dobę i trwa kilka minut. Żeby polecieć na Marsa, trzeba trafić w okno, które otwiera się co około dwadzieścia sześć miesięcy, bo tyle trwa ustawienie się obu planet we właściwym względem siebie położeniu. Spóźnienie o miesiąc oznacza w tym przypadku ponad dwa lata czekania – i dlatego terminy misji marsjańskich są tak nieubłagane.

Na koniec rzecz, która tłumaczy rozmieszczenie kosmodromów na mapie świata. Ziemia obraca się i każdy punkt jej powierzchni już się porusza – na równiku z prędkością 465 metrów na sekundę w kierunku wschodnim. Rakieta startująca na wschód dostaje tę prędkość w prezencie, nie płacąc za nią ani kropli paliwa. Im dalej od równika, tym prezent mniejszy, bo maleje promień okręgu, po którym punkt startu zatacza dobowe koło.

Czterysta sześćdziesiąt pięć metrów na sekundę z owych dziewięciu i czterech dziesiątych kilometra na sekundę to niecałe pięć procent całego przyrostu prędkości. Brzmi skromnie, ale przy wykładniczej zależności z równania Ciołkowskiego te pięć procent przekłada się na kilkanaście procent masy ładunku – czyli na tony. Dlatego szerokość geograficzna kosmodromu jest jednym z pierwszych kryteriów przy

360946405d



Rysunek 9. Ile prędkości daje rakiecie sam obrót Ziemi, w zależności od szerokości geograficznej kosmodromu. Europejski port kosmiczny w Kourou leży zaledwie pięć stopni od równika i korzysta z tego prezentu niemal w całości; Bajkonur traci jedną trzecią. Obliczenia redakcyjne dla doby gwiazdowej, czyli 86 164 sekund, i promienia równikowego Ziemi 6378 km

wyborze miejsca startu, a ile na tym zyskują poszczególne miejsca startów, pokazuje **rysunek 9**.

Szerokość geograficzna kosmodromu decyduje jeszcze o czymś: rakieta nie może bez dodatkowych manewrów wejść na orbitę nachyloną do równika pod kątem mniejszym niż szerokość geograficzna miejsca startu. Z Bajkonuru, leżącego na 46 stopniu, nie da się bezpośrednio wynieść satelity na orbitę równikową, a każda korekta nachylenia orbity to jeden z najdroższych manewrów, jakie w ogóle się wykonuje. ■

Dlaczego rodzice tak cię wkurzają i co z tym zrobić

Dean Burnett

Wydawnictwo: Insignis, stron: 344, sugerowana cena: 37,99 zł

Wstawaj! Szkoda dnia! Może mógłbyś odłożyć ten telefon choć na minutę?! Traktujesz dom jak hotel! A cóż to się porobiło z twoimi rodzicami? Istnieją setki książek dla rodziców o tym, jak mają radzić sobie z tobą. Teraz trzymasz w ręku pierwszą książkę napisaną dla ciebie po to, byś mógł zrozumieć, co, u licha, dzieje się z twoimi rodzicami. Jej autorem jest światowej sławy neurobiolog Dean Burnett, znany z bestsellera „Gupi muzg" i „Psychologika". Dlaczego rodzice mają obsesję na punkcie porządku i twojego smartfona, nie pozwalają ci się wyspać i w ogóle cię nie rozumieją? Nie martw się, to ich bardzo typowe usterki. Dzięki tej książce dowiesz się, jak je usuwać, a nawet – jak im zapobiegać! Nie unikniesz wszystkich kłótni, ale wyobraź sobie tylko, co będziesz w stanie osiągnąć, kiedy przestaniesz marnować tyle czasu i energii na awantury o bałagan w twoim pokoju!



eprasa.pl 360946405d



Czym się tam leci: rakiety i napędy 2026

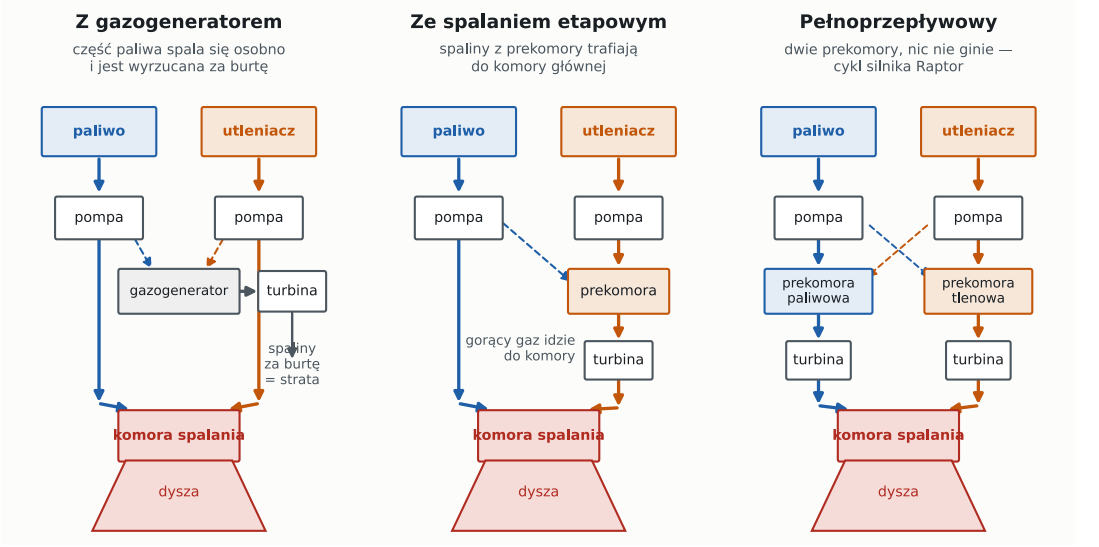
Z poprzedniego rozdziału wiemy już, dlaczego rakieta musi być w dziewięciu dziesiątych zbiornikiem paliwa i dlaczego dzieli się na stopnie. Teraz zaglądamy do środka. Silnik rakietowy jest jednym z najbardziej ekstremalnych urządzeń, jakie człowiek zbudował: przez kilka minut pracy przepompowuje przez siebie setki ton cieczy, wytrzymuje temperaturę wyższą niż na powierzchni Słońca w rejonie plam i nie ma prawa się zaciąć ani na sekundę.

Dlaczego rakieta potrzebuje pomp

Ciśnienie w komorze spalania dużego silnika rakietowego wynosi od stu do kilkuset atmosfer. Gdyby paliwo miało tam wpływać samo, ciśnienie w zbiornikach musiałoby być jeszcze wyższe – a zbiornik wytrzymujący trzysta atmosfer i mający objętość cysterny kolejowej ważyłby tyle, że nie byłoby czego wynosić. Dlatego zbiorniki trzyma się pod ciśnieniem rzędu kilku atmosfer, a właściwe sprężanie wykonują turbopompy: maszyny wielkości beczki, które tłoczą po kilkaset kilogramów cieczy na sekundę i obracają się z prędkością kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę.

Pompę trzeba czymś napędzić, a jedyne dostępne na pokładzie źródło energii to paliwo, które i tak wieziemy. I właśnie sposób zasilania turbiny napędzającej pompy dzieli silniki

eprasa.pl 360946405d

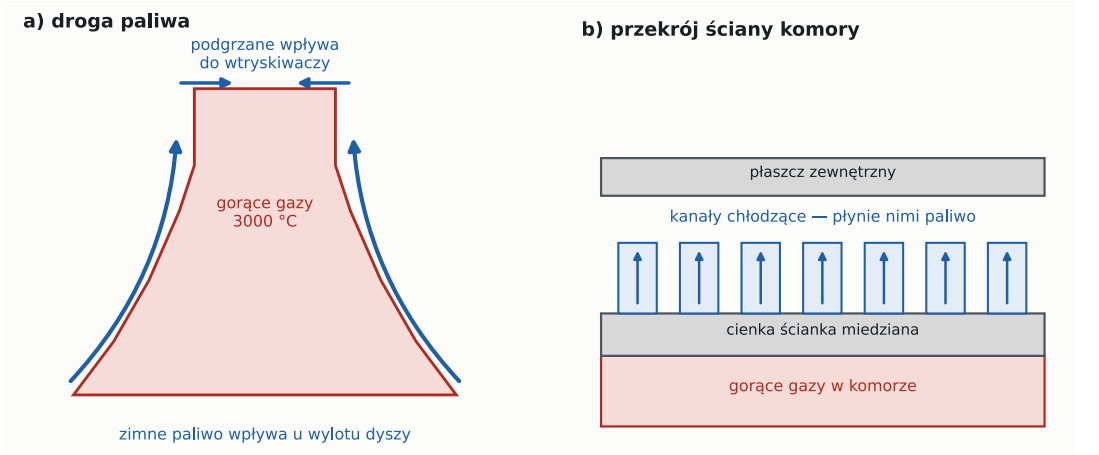


Rysunek 10. Trzy cykle silnika rakietowego. Różnią się tym, co dzieje się z gazem, który napędza turbinę pomp. Schematy uproszczone – pominięto zawory, instalacje zapłonowe i układy sterowania

rakietowe na rodziny, nazywane cyklami. Trzy najważniejsze pokazuje **rysunek 10**.

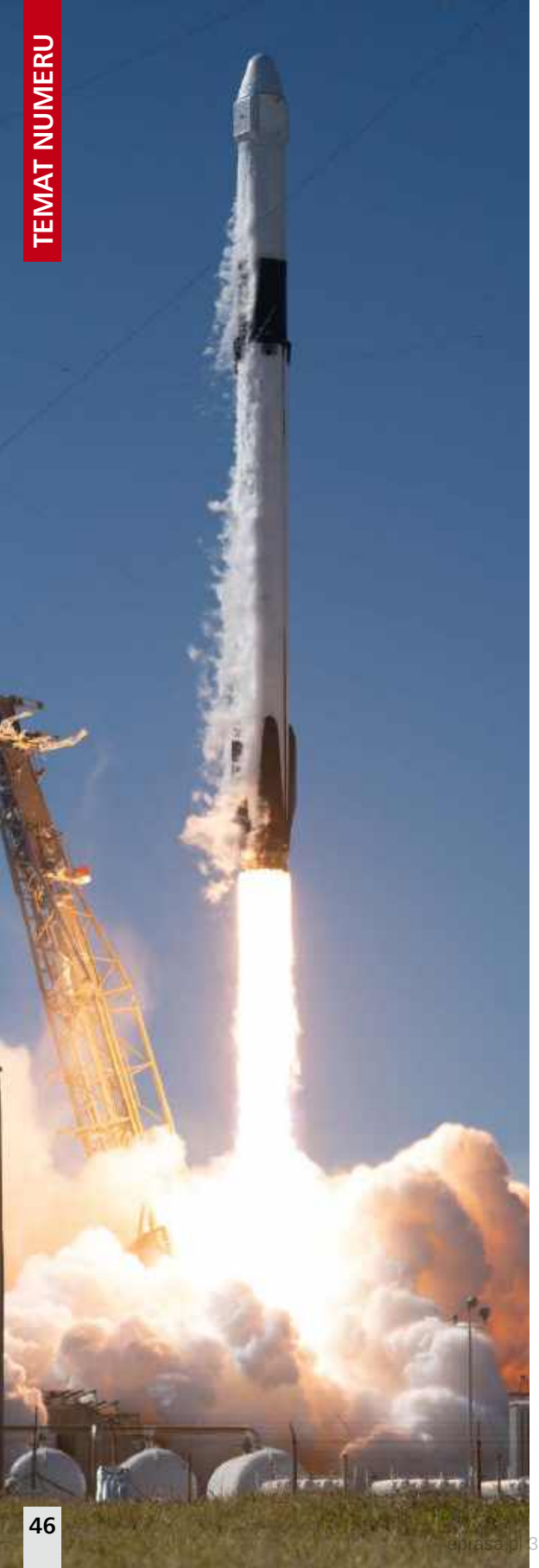
W cyklu z gazogeneratorem, najstarszym i najprostszym, niewielką część paliwa i utleniacza spala się w osobnej komorze, powstałym gazem kręci się turbinę, a potem wyrzuca go za burtę osobnym wylotem. Widać to na starych zdjęciach startów: obok głównego, jasnego płomienia ciągnie się drugi, ciemny, kopcący strumień. To są właśnie spaliny z gazogeneratora – i jest to czysta strata, bo ta porcja paliwa nie wytwarza użytecznego ciągu. W tym cyklu pracuje europejski Vulcain 2.1 i amerykański Merlin.

Cykl ze spalaniem etapowym tę stratę likwiduje. Gaz, który przeszedł przez turbinę, nie wylatuje za burtę, lecz trafia do komory głównej i dopala się w niej do końca. Cena jest inna: gaz wychodzący z prekomory jest gorący i pod wysokim ciśnieniem, więc cała instalacja za turbiną musi wytrzymać znacznie więcej. Kiedy prekomora pracuje z nadmiarem tlenu – a tak działa amerykański BE-4 i rosyjski RD-180 – przez turbinę płynie gorący tlen pod ciśnieniem, czyli substancja, która zapala stal. Opanowanie tego było jednym z największych osiągnięć radzieckiej szkoły konstrukcyjnej lat siedemdziesiątych.



Rysunek 11. Chłodzenie regeneracyjne. Paliwo, zanim trafi do komory, przepływa kanałami w jej ściance i zabiera ciepło. Ścianka nie przegrzewa się, a paliwo wchodzi do komory już podgrzane – nic nie ginie, stąd nazwa

eprasa.pl 360946405d



Trzecia rodzina to cykl pełnoprzepływowy. Prekomory są dwie: jedna pracuje z nadmiarem paliwa i napędza pompę paliwa, druga z nadmiarem tlenu i napędza pompę tlenu. Do komory głównej trafia wszystko, nic nie idzie za burtę, a obie turbiny pracują w chłodniejszym gazie niż w poprzednim cyklu, więc żyją dłużej. Jest jeszcze jedna korzyść, mniej oczywista: skoro przez każdą pompę płynie tylko jedna substancja, nie trzeba budować uszczelnień rozdzielających paliwo od utleniacza na wspólnym wale, a to one bywały przyczyną najgroźniejszych awarii.

Cykl pełnoprzepływowy przez pół wieku pozostawał teorią. Zbudowany przez NASA demonstrator osiągnął pełną moc dopiero w ubiegłej dekadzie; dziś pracuje w nim silnik Raptor napędzający Starshipa. Jego najnowsza wersja daje przy ziemi 250 ton siły ciągu przy masie 1525 kilogramów – czyli sam silnik jest lżejszy od samochodu osobowego, a pcha jak trzysta ciężarówek naraz. Zapłon odbywa się w nim bez świec, falą akustyczną.

Ścianka cieńsza od monety, po drugiej stronie trzy tysiące stopni

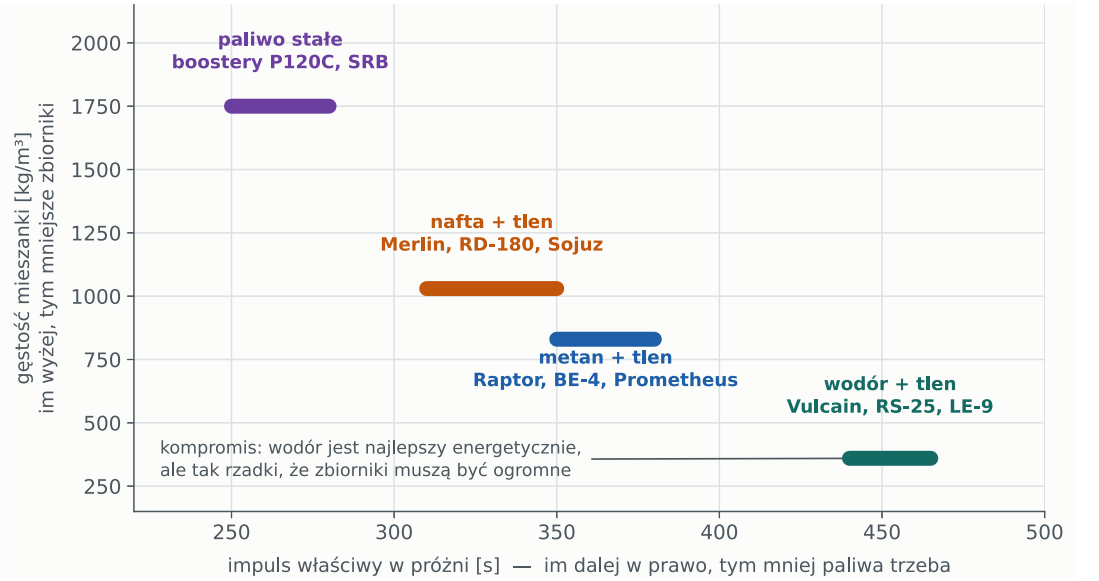
Temperatura w komorze spalania przekracza 3000 stopni Celsjusza. Miedź topi się przy 1085 stopniach, stal przy około 1500. Mimo to ścianka komory ma zwykle kilka milimetrów grubości i jest miedziana. Sztuczka nazywa się chłodzeniem regeneracyjnym i pokazuje ją **rysunek 11**.

W ściance komory i dyszy wyfrezowane są setki wąskich kanałów. Zanim paliwo trafi do wtryskiwaczy, przepływa przez nie od wylotu dyszy aż do góry komory, odbierając ciepło. Ścianka nie zdąży się przegrzać, bo płynące paliwo odprowadza ciepło szybciej, niż dochodzi ono od strony gazów. Ciepło nie jest przy tym marnowane: podgrzane paliwo wchodzi do komory łatwiej się odparowując i lepiej mieszając. Stąd słowo „regeneracyjne” – energia wraca do obiegu.

Cztery rodziny paliw i wieczny kompromis

Silnik na paliwo ciekłe potrzebuje dwóch składników: paliwa i utleniacza. O wyborze pary decydują dwie liczby, które ciągną w przeciwne strony. Pierwsza to impuls właściwy, czyli miara oszczędności. Druga to gęstość mieszanki,

eprasa.pl/360946405d



Rysunek 12. Cztery rodziny paliw rakietowych. Idealne paliwo leżałoby w prawym górnym rogu wykresu – byłoby jednocześnie oszczędne i gęste. Takiego nie ma. Wartości typowe dla silników lotnych; konkretne konstrukcje różnią się w obrębie tych zakresów o kilkanaście sekund

czyli objętość zbiorników. **Rysunek 12** pokazuje, jak wygląda ten kompromis.

Wodór z tlenem to najlepsza para pod względem energetycznym: około 450 sekund impulsu właściwego. Ma jednak dwie wady. Po pierwsze, ciekły wodór jest skrajnie rzadki, więc zbiorniki muszą być ogromne, a duży zbiornik to duża masa konstrukcji. Po drugie, skrapla się dopiero przy minus 253 stopniach, co oznacza kosztowną izolację i ciągłe odparowywanie. Dlatego wodór stosuje się dziś głównie w stopniach górnych, gdzie oszczędność paliwa liczy się najbardziej: tak pracują europejskie silniki Vulcain i Vinci, amerykański RS-25 i japoński LE-9.

Nafta z tlenem daje około 350 sekund, ale jest gęsta, tania i łatwa w obchodzeniu się. Na tej parze pracowały rakiety Korolowa i na niej lata dziś Falcon 9. Ma jedną wadę, która ujawniła się dopiero wtedy, gdy zaczęto używać silników po wielokroć: nafta kopci, a sadza osadza się w kanałach i na wtryskiwaczach.

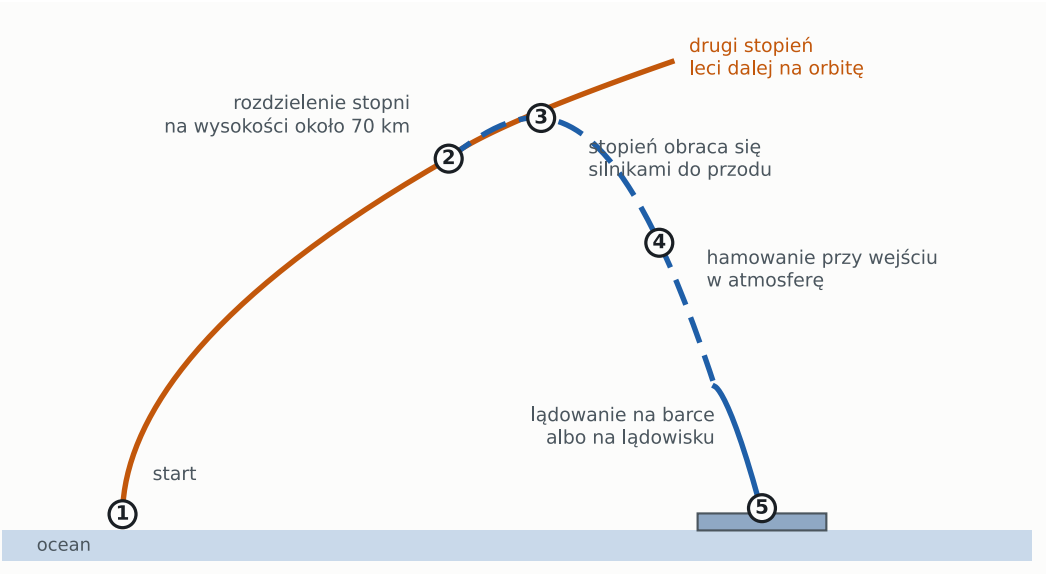
Stąd bierze się obecna moda na metan. Europejska Agencja Kosmiczna, uzasadniając program silnika Prometheus, wylicza jego zalety wprost: metan nie wymaga tak skrajnego chłodzenia jak wodór, więc odpada drogie zapotrzebowanie na hel do przedmuchiwania instalacji, a w odróżnieniu od nafty nie kopci – co przy silniku przeznaczonym do wielokrotnego użytku jest argumentem rozstrzygającym. Prometheus ma dawać się dławić w zakresie od trzydziestu do stu dziesięciu procent ciągu i kosztować dziesięciokrotnie mniej w produkcji

Dlaczego rakieta nie odpycha się od powietrza

To najczęstsze nieporozumienie dotyczące lotów kosmicznych i warto je wyjaśnić. Rakieta nie potrzebuje żadnego ośrodka, od którego mogłaby się odepchnąć. Działa tu zasada zachowania pędu, ta sama, która odrzuca strzelbę w ramię przy strzale i która popchnie człowieka na wrotkach, gdy rzuci on przed siebie ciężką piłkę.

Silnik wyrzuca do tyłu masę – kilkaset kilogramów spalin na sekundę, z prędkością rzędu trzech kilometrów na sekundę. Pęd tej masy musi się czymś zrównoważyć, więc rakieta dostaje pęd skierowany w przeciwną stronę. Powietrze nie jest do tego potrzebne; przeciwnie, tylko przeszkadza, bo stawia opór. Silnik rakietowy pracuje w próżni lepiej niż w atmosferze, bo spaliny mogą się w dyszy rozprężyć do końca i wylatują szybciej. Stąd różnica między impulsem właściwym mierzonym przy ziemi a tym mierzonym w próżni – zawsze na korzyść próżni.

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 13. Powrót pierwszego stopnia. Po rozdzieleniu stopień obraca się silnikami do przodu, hamuje przy wejściu w atmosferę i ląduje – na barce na oceanie albo na betonowym lądowisku. Rysunek nie zachowuje skali

niż poprzednia generacja silników tej klasy. Na metanie pracują też Raptor i BE-4.

Osobną rodziną są silniki na paliwo stałe, w których paliwo i utleniacz są zmieszane i uformowane w twardą bryłę wypełniającą całą obudowę. Nie ma tam ani pomp, ani zbiorników, ani zaworów – jest tylko zapalnik i dysza. Impuls właściwy wychodzi najgorszy ze wszystkich, około 250...280 sekund, ale gęstość najlepsza, konstrukcja jest prosta i można ją przechowywać latami w gotowości. Cena za tę prostotę jest jednak dosłownie ostateczna: raz zapalonego silnika na paliwo stałe nie da się ani zdławić, ani wyłączyć. Europejski booster P120C pracuje 130 sekund, daje 3500 kiloniutonów ciągu i zawiera 142 tony paliwa – a potem po prostu się kończy. Dla porównania górny silnik Vinci daje 180 kiloniutonów, ale można go zapalać ponownie nawet cztery razy i pracować łącznie 900 sekund.

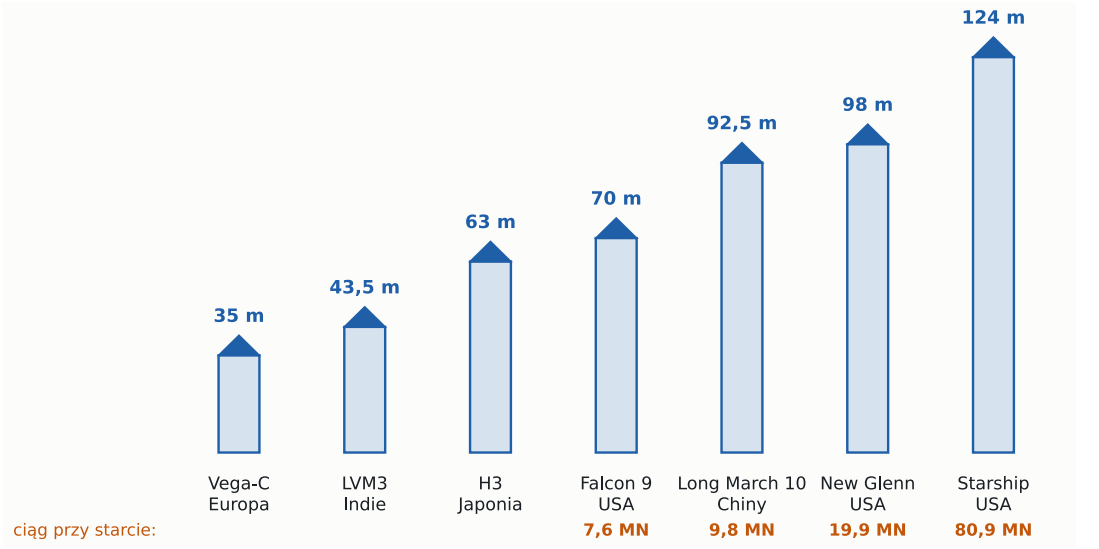
Co naprawdę zmieniła odzyskiwalność

Rakieta wielokrotnego użytku nie jest wynalazkiem fizycznym, tylko ekonomicznym. Pierwszy stopień, który po rozdzieleniu wraca i ląduje, przelicza się wprost na koszt: zamiast budować nowy zestaw silników na każdy lot, trzeba go przejrzeć, zatankować i wysłać ponownie. Cena tej możliwości jest w paliwie, bo na hamowanie i lądowanie trzeba go zostawić w zbiornikach, i w zmniejszonym udźwigu. **Rysunek 13** pokazuje, jak wygląda taki powrót.

Skalę zmiany najlepiej widać w liczbach urzędu lotnictwa cywilnego, który w Stanach Zjednoczonych licencjonuje starty. W roku budżetowym 2025 wydano tam 195 licencji startowych, z czego 161 przypadło na jednego operatora. Dla porządku warto dodać, że w całym okresie od 1989 do 2025 roku ten sam urząd licencjonował 982 starty i powroty – i że aż sześćdziesiąt jeden procent z nich przypadło na ostatnie pięć lat. Krzywa częstości startów nie rośnie, tylko skacze.

Rok 2026 pokazał jednak, że powtarzalność jest trudniejsza niż pierwszy sukces. W kwietniu firma Blue Origin po raz pierwszy wysłała w kosmos używany już wcześniej dolny stopień rakiety New Glenn i odzyskała go po raz drugi, sadzając na barce po dziewięciu minutach i dwudziestu sekundach lotu – ale ładunek trafił na niewłaściwą orbitę. W maju kolejny egzemplarz eksplodował podczas próby statycznej silników na stanowisku startowym – nie w locie. Wstępna analiza wskazywała sekcję ogonową dolnego stopnia, ale w sierpniu firma podała jako przyczynę główny zawór tlenu w jednym z silników. Zniszczone zostało przy tym jedyne czynne stanowisko startowe tej rakiety, a jego odbudowę szacuje się na ponad rok. Z kolei Starship w nowej wersji poleciał po raz pierwszy w maju 2026 roku: statek wykonał zadanie, ale booster

eprasa.pl 360946405d



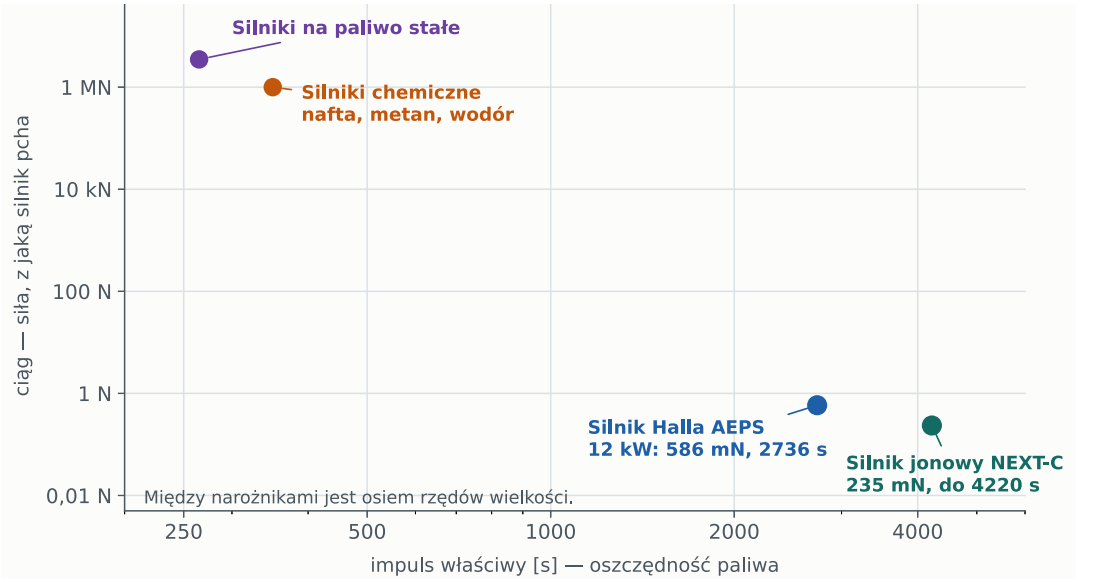
Rysunek 14. Flota nośników 2026. Wysokości według danych producentów i agencji kosmicznych, rysunek w skali. Ciąg przy starcie podano tam, gdzie producent go publikuje

stracono przy próbie powrotu. Dopiero podczas lipcowego lotu z pokładu Starshipa wypuszczono pierwsze prawdziwe satelity.

Flota świata w 2026 roku

Rysunek 14 zestawia rakiety, które w tym roku latają albo właśnie wchodzą do służby, narysowane we wspólnej skali.

Starship jest najwyższą rakietą, jaką kiedykolwiek zbudowano: 124 metry, czyli więcej niż Saturn V, który zawiózł ludzi na Księżyc. Jego trzydzieści trzy silniki dają przy starcie około 81 meganiutonów ciągu – mniej więcej czterokrotność tego, co rozwija siedmiosilnikowy New Glenn, i ponad dziesięciokrotność ciągu Falcona 9. Na drugim końcu zestawienia



Rysunek 15. Ciąg i oszczędność paliwa. Silniki chemiczne pchają milion razy mocniej, silniki elektryczne są kilkanaście razy oszczędniejsze. Obie osie w skali logarytmicznej. Dane silników elektrycznych według arkuszy NASA; dla silników chemicznych podano wartości typowe

eprasa.pl 360946405d

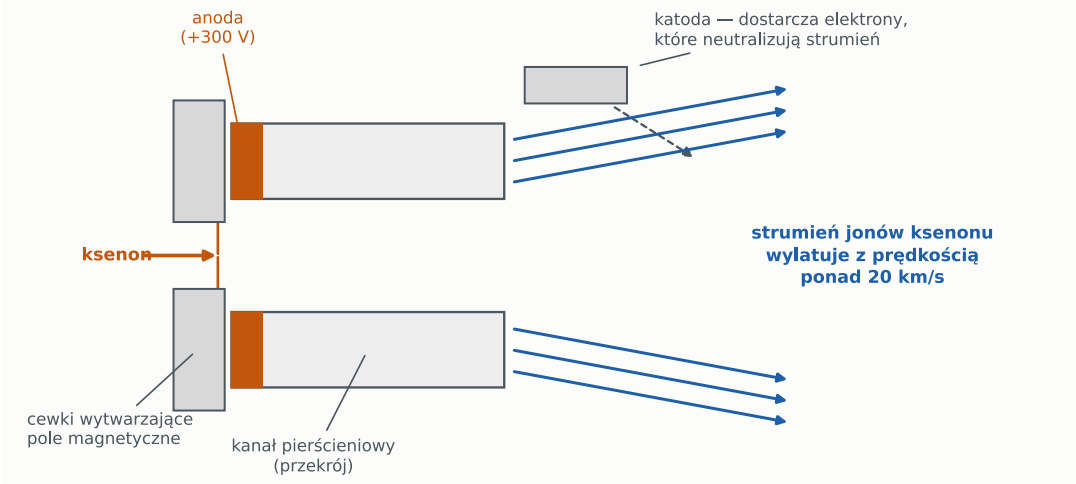


stoi europejska Vega-C, rakieta mała, przeznaczona do zupełnie innych zadań; indyjska LVM3 to już nośnik klasy ciężkiej – to ona wyniosła lądownik Chandrayaan 3 i to ona ma ponieść pierwszą indyjską załogę.

Warto zauważyć, czego na tym rysunku nie ma: żadnej rakiety europejskiej większej niż Ariane 6, żadnej rosyjskiej nowej konstrukcji i żadnej, która woziłaby ludzi z Europy. To jest obraz, do którego wrócimy w części o tym, kto dziś w kosmosie decyduje.

Kiedy już jesteśmy na orbicie: napędy elektryczne

Wszystko powyższe dotyczy wydostania się z Ziemi. W przestrzeni obowiązują zupełnie inne reguły, bo nie ma już ani grawitacji do pokonania w każdej sekundzie, ani atmosfery, ani



Rysunek 16. Silnik Halla w przekroju. Ksenon zamienia się w plazmę, a jony są wyrzucane polem elektrycznym z prędkością ponad 20 km/s. Schemat uproszczony; w rzeczywistości kanał ma kształt pierścienia

eprasa.pl 360946405d

pośpiechu. Można ciągnąć bardzo słabo, ale bardzo długo – i właśnie na tym polegają napędy elektryczne.

Silnik jonowy NEXT-C, zbudowany przez NASA i użyty po raz pierwszy w misji, która uderzyła w planetoidę, daje ciąg 235 miliniutonów. To mniej więcej tyle, ile waży w dłoni jedna kartka papieru. Za to jego impuls właściwy sięga 4220 sekund, czyli dwanaście razy więcej niż w najlepszym silniku chemicznym. Silnik Halla AEPS, budowany dla programu księżycowego, przy mocy 12 kilowatów daje 586 miliniutonów przy impulsie właściwym 2736 sekund i ma przepracować 23 tysiące godzin – blisko trzy lata bez przerwy.

Zasadę działania silnika Halla pokazuje **rysunek 16**. W pierścieniowym kanale wytwarza się pole magnetyczne, które zatrzymuje elektrony; te zderzają się z atomami ksenonu i wybijają z nich elektrony, zamieniając gaz w plazmę. Powstałe jony są następnie rozpędzane polem elektrycznym i wylatują z prędkością przekraczającą dwadzieścia kilometrów na sekundę, czyli siedem razy szybciej niż spaliny silnika chemicznego. Katoda umieszczona na zewnątrz dorzuca do strumienia elektrony – bez tego statek ładowałby się elektrycznie i po chwili przyciągałby własne jony z powrotem.

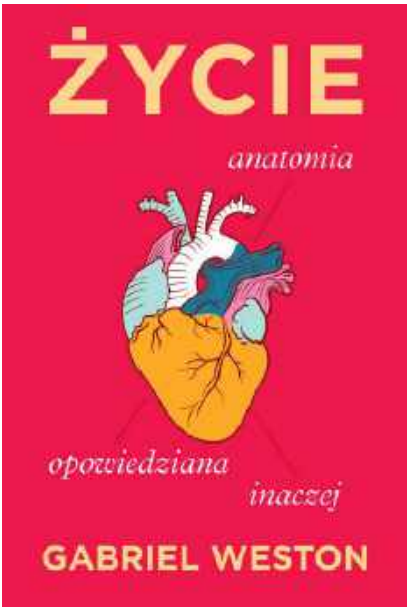
Prąd do tego wszystkiego biorą panele słoneczne – i tu tkwi ograniczenie. Przy Ziemi dostępnej mocy jest dużo, przy Jowiszu kilkadziesiąt razy mniej, a przy Neptunie fotowoltaika nie ma już sensu. Dlatego wraca pomysł reaktora jądrowego jako źródła prądu dla napędu elektrycznego. Amerykański program termicznego napędu jądrowego DRACO, który miał podgrzewać wodór w reaktorze, skasowano w czerwcu 2025 roku – jeden z szefów agencji, która go prowadziła, uzasadnił to wprost: przy spadających kosztach wynoszenia zysk ze sprawności przestał się opłacać. Kierunek przesunięto na napęd elektryczny zasilany z reaktora. Ogłoszony w marcu 2026 roku plan przewiduje reaktor o mocy elektrycznej około 20 kilowatów, zasilający napęd do 48 kilowatów, i start ku Marsowi w grudniu 2028 roku.

Jest też rozwiązanie, które nie potrzebuje w ogóle żadnego paliwa: żagiel słoneczny. Światło słoneczne niesie pęd i odbijając je od dużej, cienkiej folii, można uzyskać ciąg. Jest on mikroskopijny – dla żagla o powierzchni boiska liczony w ułamkach niutona – ale działa bez końca i za darmo. Statek z żaglem nie ma zapasu paliwa, który mógłby się wyczerpać.

Zestawienie na rysunku 15 dobrze podsumowuje całą tę część numeru. Silniki chemiczne mają jedną niezastąpioną zaletę: potrafią wytworzyć ciąg większy od ciężaru rakiety, a to jedyny sposób, żeby oderwać się od Ziemi. Wszystko, co dzieje się dalej – podnoszenie orbity, podróż do innej planety, utrzymanie sondy w punkcie Lagrange'a – należy już do napędów, które pchają słabiutko, ale nie przestają. ■

Życie. Anatomia opowiedziana inaczej
Gabriel Weston
Wydawnictwo: Insignis, stron: 368, sugerowana cena: 49,99 zł

Co to właściwie znaczy żyć we własnym ciele? Gabriel Weston zawsze czuła, że w anatomii, którą studiowała, czegoś jej brakuje. I rzeczywiście: kiedy została chirurżką, matką, a w końcu pacjentką, musiała zmierzyć się z rozdźwiękiem między ciałem, które znała jako lekarka, a poczuciem życia w nim. Swoje doświadczenia opisała w tej książce. Zabiera nas w niej w niezwykłą podróż po naszym organizmie, przeplatając wiedzę medyczną historią, filozofią, sztuką i osobistymi przeżyciami (m.in. czterema porodami, wypadkiem ojca czy wreszcie własną chorobą serca i oczekiwaniem na operację). Jej narracja kreuje zupełnie inny obraz ludzkiego ciała: o wiele bardziej kruchego, niepokojącego, fascynującego i cudownego, niż moglibyśmy sobie wyobrazić. Owszem, Weston opowiada o sercu, mózgu, płucach, skórze, macicy i innych narządach, ale jednocześnie pisze o strachu, miłości, macierzyństwie, seksualności, chorobie i śmierci. O tym, że nasze organy mają nie tylko określone funkcje biologiczne, lecz są częścią historii, którą opowiadamy o sobie – i którą nasze ciała opowiadają o nas. To zupełnie nowe spojrzenie na to, co każdy z nas posiada, ale zwykle zaskakująco mało zna i rozumie: własne ciało.



eprasa.pl 360946405d



Orbita, z której korzystasz codziennie

Wszystko, o czym była mowa do tej pory – prędkość orbitalna, równanie Ciołkowskiego, cykle silnikowe – służyło jednemu: wyniesieniu czegoś na orbitę. Teraz przyjrzymy się temu, co tam pracuje. I okaże się, że z owoców tej pracy korzysta każdy czytelnik tego tekstu, zwykle kilkadziesiąt razy dziennie, nie mając o tym pojęcia.

Trzy rzeczy zasługują tu na osobne omówienie: nawigacja satelitarna, łączność i obserwacja Ziemi. Zaczniemy od tej, którą najłatwiej sprawdzić – wystarczy wyjąć telefon z kieszeni.

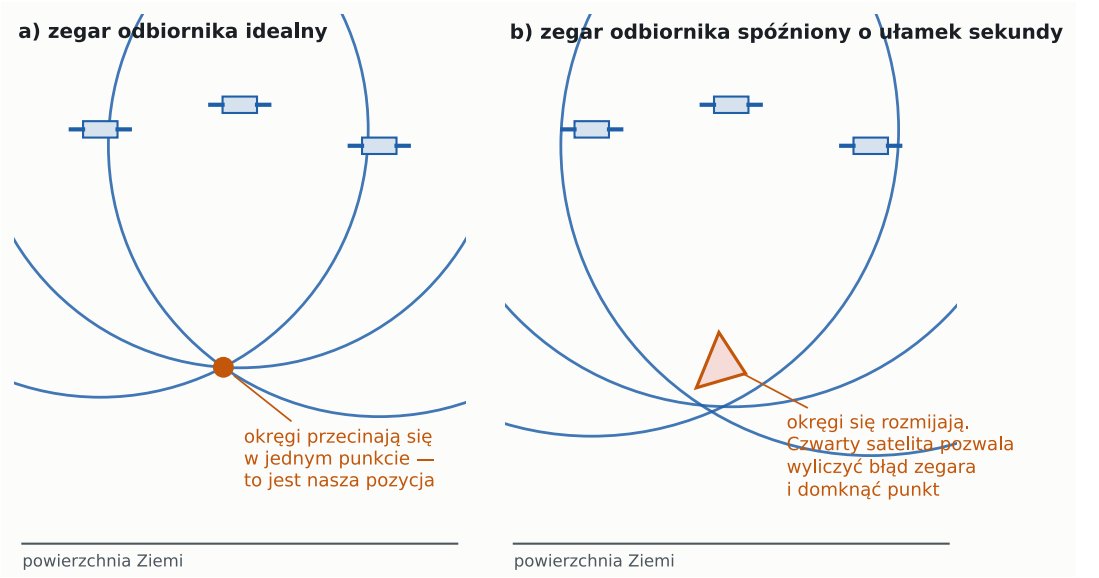
Nawigacja: skąd telefon wie, gdzie jesteś

Odpowiedź, którą zna każdy, brzmi: z GPS-u. Odpowiedź prawdziwa jest ciekawsza, bo telefon w istocie nie mierzy odległości ani kierunku. Telefon mierzy czas.

Każdy satelita nawigacyjny nadaje bez przerwy sygnał zawierający dwie informacje: kim jestem i która jest u mnie godzina. Odbiornik odbiera ten sygnał, porównuje zawartą w nim godzinę z własnym zegarem i z różnicy wylicza, jak długo sygnał leciał. Ponieważ fala radiowa porusza się z prędkością światła, czas przelotu pomnożony przez prędkość światła daje odległość do satelity. Jeden satelita wyznacza więc kulę, na której gdzieś leżymy. Dwa satelity – okrąg będący przecięciem dwóch kul. Trzy – dwa punkty, z których jeden zwykle wypada gdzieś w kosmosie i daje się odrzucić.

Wyglądałoby więc na to, że trzy satelity wystarczą. I wystarczyłyby, gdyby zegar w odbiorniku

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 17. Dlaczego potrzeba czterech satelitów, a nie trzech. Gdy zegar odbiornika jest dokładny, okręgi wyznaczone przez poszczególne satelity przecinają się w jednym punkcie. Gdy zegar się myli, wszystkie odległości są obarczone tym samym błędem i okręgi się rozmijają. Czwarty pomiar pozwala potraktować błąd zegara jako czwartą niewiadomą i wyliczyć go razem z pozycją

był równie dokładny jak zegary na satelitach. Nie jest – to zwykły oscylator kwarcowy wart kilka złotych, który myli się o mikrosekundy. A mikrosekunda błędu w pomiarze czasu to trzysta metrów błędu w pomiarze odległości.

I tu leży sedno. Skoro błąd zegara odbiornika jest jeden i ten sam dla wszystkich pomiarów, to można go potraktować jako czwartą niewiadomą – obok trzech współrzędnych. Cztery niewiadome wymagają czterech równań, czyli czterech satelitów. Odbiornik rozwiązuje ten układ i przy okazji wyznaczania pozycji dostaje za darmo coś bardzo cennego: dokładny czas atomowy. Wrócimy do tego za chwilę, bo to właśnie jest najważniejszy produkt nawigacji satelitarnej.

Zegary atomowe i poprawka, bez której nic by nie działało

Na pokładzie każdego satelity nawigacyjnego pracują zegary atomowe – zwykle po kilka, rubidowe i cezowe, dla bezpieczeństwa. Odmierzają czas, licząc drgania związane z przejściem między poziomami energetycznymi atomu; sekundę definiuje się dziś jako 9 192 631 770 okresów promieniowania cezu-133. Taki zegar myli się o sekundę w ciągu milionów lat.

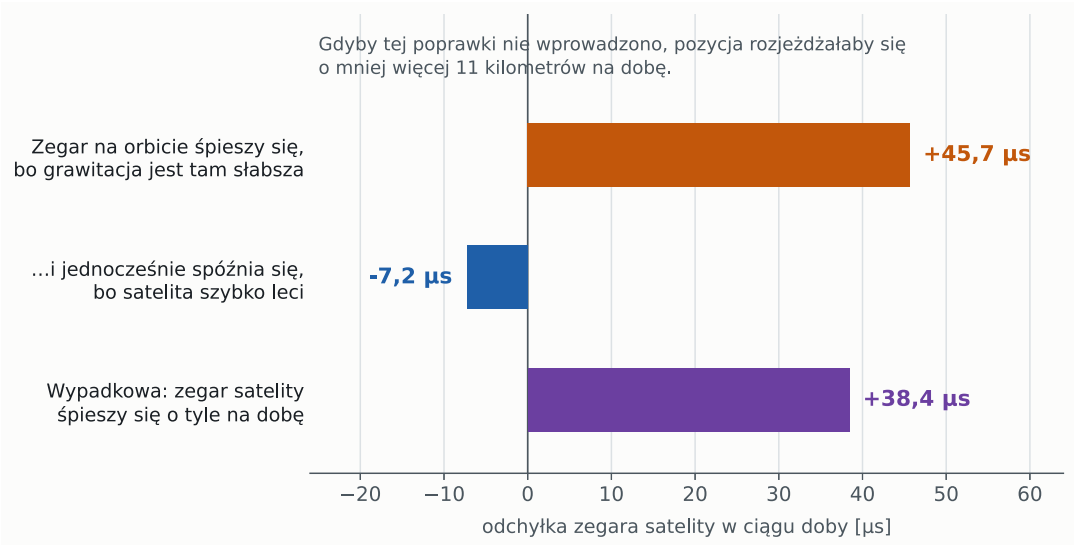
Tyle że sama dokładność nie wystarcza, bo zegar na orbicie i zegar na Ziemi nie chodzą jednakowo. Wchodzą tu w grę dwa efekty z teorii względności, działające w przeciwne strony.

Pierwszy efekt bierze się z grawitacji. Satelita nawigacyjny krąży na wysokości ponad dwudziestu tysięcy kilometrów, jest więc ponad cztery razy dalej od środka Ziemi niż my, stojący na jej powierzchni. Grawitacja jest tam znacznie słabsza, a w słabszej grawitacji czas płynie szybciej – zegar satelity śpieszy się.

Drugi efekt bierze się z prędkości: szybko poruszający się zegar chodzi wolniej, więc spóźnia się. Tu trzeba od razu wyjaśnić pewną liczbę, bo w części poświęconej elementarzowi lotów kosmicznych mowa była o ośmiu kilometrach na sekundę. Tamta wartość dotyczy orbity niskiej, tuż nad atmosferą. Im wyżej, tym wolniej: prędkość potrzebna do utrzymania się na orbicie maleje wraz z odległością od Ziemi, bo słabsze przyciąganie wystarczy zrównoważyć mniejszą siłą odśrodkową. Na wysokości stacji kosmicznej prędkość orbitalna wynosi 7,7 kilometra na sekundę, na wysokości satelitów nawigacyjnych już tylko 3,9, a na orbicie geostacjonarnej – 3,1. Satelita nawigacyjny leci więc dwa razy wolniej niż stacja kosmiczna, choć krąży pięćdziesiąt razy wyżej od niej.

Rysunek 18 pokazuje, jak wypada bilans obu efektów.

eprasa.pl 360946405d

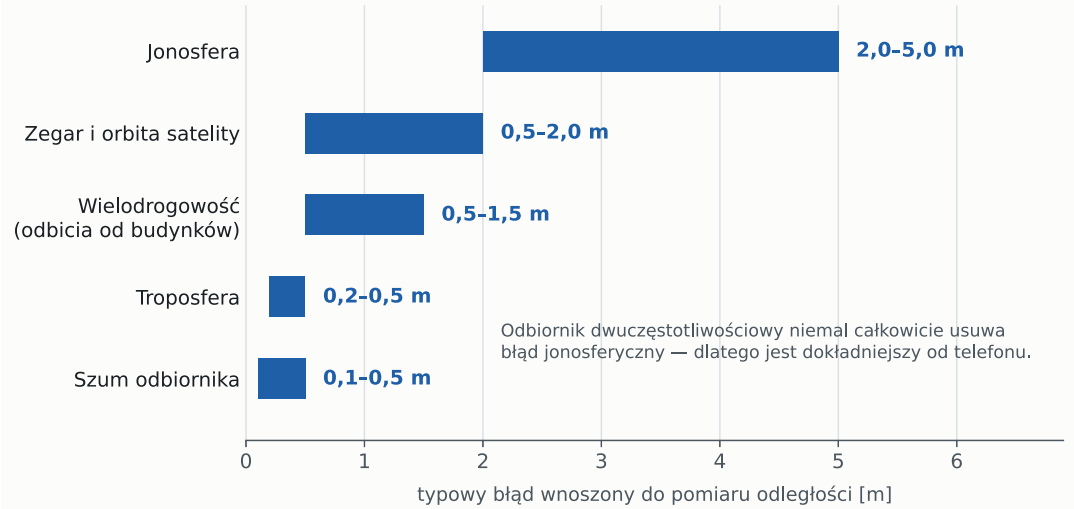


Rysunek 18. Dwa efekty relatywistyczne działające w przeciwne strony i ich wypadkowa. Obliczenia redakcyjne dla orbity o promieniu 26 560 km; w dokumencie interfejsowym systemu GPS podano wartość wynikową jako względne przesunięcie częstotliwości $4{,}4647 \times 10^{-10}$, co odpowiada 38,6 mikrosekundy na dobę

Efekt grawitacyjny wygrywa i zegar satelity śpieszy się o około 38 mikrosekund na dobę. Brzmi to jak wielkość, którą można zaniedbać – ale mikrosekunda to trzysta metrów. Gdyby tej poprawki nie wprowadzono, pozycja wyznaczana z GPS-u rozjeżdżałaby się o ponad jedenaście kilometrów dziennie i system stałby się bezużyteczny w ciągu kilku godzin. Poprawkę wprowadza się w najprostszy możliwy sposób: zegary są przed startem przestrajane na częstotliwość odrobinę niższą od nominalnej, tak żeby na orbicie chodziły dokładnie tak, jak trzeba. To jeden z niewielu przypadków, gdy teoria względności jest częścią specyfikacji technicznej urządzenia produkowanego seryjnie.

Skąd się biorą metry błędu

Zakładając, że zegary chodzą jak należy, pozostają jeszcze cztery źródła błędu – i tu zaczyna się



Rysunek 19. Budżet błędu pomiaru odległości do satelity, wartości typowe dla odbiornika jednoczęstotliwościowego. Największy udział ma jonosfera, w której naładowane cząstki opóźniają sygnał zależnie od częstotliwości

eprasa.pl 360946405d



inżynieria. **Rysunek 19** pokazuje ich typowy udział.

Największym winowajcą jest jonosfera – warstwa atmosfery na wysokości od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów, gdzie promieniowanie słoneczne wybija elektrony z atomów. Sygnał przechodzący przez ten naładowany ośrodek dociera z opóźnieniem, a wielkość tego opóźnienia zależy od częstotliwości. To zaś podsuwa rozwiązanie: wystarczy odbierać sygnał na dwóch częstotliwościach naraz i porównać opóźnienia, żeby wyliczyć poprawkę. Właśnie dlatego odbiornik geodezyjny, dwuczęstotliwościowy, jest o rząd wielkości dokładniejszy od telefonu, a nowsze telefony też już zaczynają odbierać dwie częstotliwości.

Troposfera, czyli zwykłe powietrze z parą wodną, opóźnia sygnał słabiej i niezależnie od częstotliwości, więc trzeba ją modelować. Wielodrogowość to sygnał, który zamiast dolecieć wprost, odbił się od ściany budynku i przebył dłuższą drogę – dlatego w wąskiej ulicy między wieżowcami telefon potrafi pokazywać pozycję z drugiej strony jezdni. Do tego dochodzą drobne niedokładności w podawanej przez satelitę informacji o własnej orbicie i o wskazaniu zegara.

Cztery systemy, jeden odbiornik

Przez pierwsze dwie dekady systemy nawigacyjne były dwa, oba wojskowe: amerykański GPS i radziecki, potem rosyjski GLONASS. Dziś działają cztery.

Europejski Galileo jest jedynym z tej czwórki zbudowanym i zarządzanym przez instytucję cywilną. We wrześniu 2026 roku europejskie centrum usług podawało trzydzieści cztery satelity w konstelacji, z czego trzydzieści ze statusem zdatnych do użytku. Chiński BeiDou osiągnął pełną zdolność operacyjną jako ostatni, w 2020 roku, i ma nietypową budowę: oprócz satelitów na orbicie średniej korzysta z kilku umieszczonych wysoko nad Azją, co daje nad Chinami wyjątkowo dużo widocznych jednocześnie satelitów.

Dla użytkownika najważniejsze jest jednak to, że odbiornik w dzisiejszym telefonie nie wybiera między tymi systemami

eprasa.pl 360946405d

	GPS Stany Zjednoczone	GLONASS Rosja	Galileo Unia Europejska	BeiDou Chiny
satelity w konstelacji nominalnej	24	24	24 + zapasowe	24 MEO + 6
wysokość orbity	20 180 km	19 100 km	23 222 km	21 500 km
okres obiegu	11 h 58 min	11 h 16 min	14 h 05 min	12 h 53 min
nachylenie orbity	55°	64,8°	56°	55°
pierwsza pełna zdolność operacyjna	1995	1995	2016 (wstępna)	2020

Odbiornik w telefonie korzysta dziś ze wszystkich czterech systemów naraz.

Rysunek 20. Cztery globalne systemy nawigacji satelitarnej. Parametry konstelacji nominalnych; w praktyce na orbicie utrzymuje się więcej satelitów, żeby mieć zapas na awarie

– korzysta ze wszystkich naraz. Im więcej widocznych satelitów, tym lepsza geometria pomiaru i tym mniejszy błąd; w miejskim kanionie, gdzie połowa nieba jest zasłonięta, różnica między jednym a czterema systemami bywa różnicą między pozycją a jej brakiem. To jest ten moment, w którym rywalizacja mocarstw daje zwykłemu człowiekowi wymierną korzyść.

Galileo ma jeszcze jedną cechę, której pozostałe systemy nie mają. Od lipca 2025 roku działa w nim usługa uwierzytelniania depeszy nawigacyjnej, w skrócie OSNMA – kryptograficzny podpis pozwalający odbiornikowi sprawdzić, czy sygnał naprawdę pochodzi od satelity. To odpowiedź na problem, który przez ostatnie lata z ciekawostki stał się realnym zagrożeniem.

Zagłuszanie i podszywanie się

Sygnał docierający z odległości dwudziestu tysięcy kilometrów jest bardzo słaby – słabszy niż szum termiczny odbiornika. Wystarczy więc niewielki nadajnik, żeby go zagłuszyć na dużym obszarze. Trudniejsze i groźniejsze jest podszywanie się: nadanie fałszywego sygnału, który udaje satelitarny i każe odbiornikowi wyliczyć nieprawdziwą pozycję albo nieprawdziwy czas.

Skala zjawiska w Europie wymusiła reakcję instytucjonalną. W marcu 2026 roku Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego wspólnie z Eurocontrolem ogłosiły plan działania dotyczący bezpieczeństwa lotów w warunkach zakłóceń nawigacji satelitarnej, a w lipcu 2026 agencja wydała kolejną aktualizację biuletynu bezpieczeństwa w tej sprawie. Lotnictwo radzi

Co przestaje działać, gdy znika sygnał satelitarny

Pozycjonowanie jest najbardziej widocznym zastosowaniem nawigacji satelitarnej, ale nie najważniejszym. Najważniejszy jest czas. Sygnał z satelitów jest dziś najtańszym i najpowszechniejszym sposobem, żeby w dowolnym miejscu na Ziemi mieć czas atomowy z dokładnością do kilkudziesięciu nanosekund – i pół gospodarki po cichu z tego korzysta.

Sieć energetyczna potrzebuje wspólnego czasu, żeby porównywać fazę napięcia w odległych punktach i wykrywać zakłócenia. Sieci telefonii komórkowej potrzebują go, żeby stacje bazowe nie nadawały jedna na drugą. Systemy rozliczeń bankowych i giełdowych potrzebują go, żeby ustalić kolejność transakcji. Serwerownie, radio cyfrowe, telewizja naziemna – wszędzie tam ten sam sygnał.

Amerykański instytut normalizacyjny oszacował w raporcie o korzyściach gospodarczych z GPS, że utrata tego sygnału kosztowałaby gospodarkę Stanów Zjednoczonych około miliarda dolarów dziennie, a największą część tej kwoty przypisał nie nawigacji, lecz właśnie telekomunikacji i energetyce. Rząd brytyjski, ogłaszając w marcu 2026 roku budowę krajowego ośrodka czasu z własnymi zegarami atomowymi, oszacował własne straty z długotrwałej awarii na 1,4 miliarda funtów w ciągu doby.

eprasa.pl 360946405d

sobie, bo ma zapasowe środki nawigacji i wyszkolone załogi. Gorzej z tymi zastosowaniami, o których mało kto pamięta – i o nich jest ramka obok.

Łączność: jeden daleko czy tysiące blisko

Przez pół wieku łączność satelitarna oznaczała jedno: satelitę na orbicie geostacjonarnej. Zaleta jest oczywista – z Ziemi wygląda na nieruchomy, więc antena może być tania i raz na zawsze ustawiona w jeden punkt nieba, a trzy takie satelity pokrywają prawie całą planetę. Wada też jest oczywista i wynika wprost z odległości.

Do satelity geostacjonarnego i z powrotem sygnał pokonuje ponad siedemdziesiąt tysięcy kilometrów, a na rozmowę składają się dwie takie drogi, czyli ponad sto czterdzieści tysięcy kilometrów. Nawet z prędkością światła daje to prawie pół sekundy. Każdy, kto oglądał korespondencję telewizyjną przez łącze satelitarne, zna ten efekt: pytanie, sekunda ciszy, dopiero potem odpowiedź. Do przesyłania sygnału telewizyjnego to nie przeszkadza, do rozmowy już tak, a do gry albo zdalnego sterowania czymkolwiek – dyskwalifikuje.

Stąd wzięły się megakonstelacje. Satelita na wysokości pięciuset kilometrów jest siedemdziesiąt razy bliżej, więc opóźnienie z powodu samej odległości spada do kilku milisekund. Cena jest znana z elementarza: z tej wysokości jeden satelita obejmuje niewielki fragment Ziemi i znika za horyzontem po kilku minutach, więc do łączności bez przerw potrzeba ich tysięcy, a antena naziemna musi umieć śledzić ruchomy cel.

Skala, jaką to osiągnęło, nie ma precedensu w historii lotów kosmicznych. Katalog prowadzony przez astronoma Jonathana McDowella podaje na dzień pisania tego tekstu prawie trzynaście tysięcy satelitów Starlink wystrzelonych od początku programu, z czego ponad jedenaście tysięcy jest wciąż na orbicie, a blisko dziesięć tysięcy pracuje na orbicie operacyjnej. Dla porównania: przez pierwsze pięćdziesiąt lat ery kosmicznej ludzkość wyniosła w sumie kilka tysięcy satelitów wszystkich rodzajów.

Nowsze satelity tych konstelacji łączą się ze sobą laserami, co zmienia sposób działania całego systemu. Bez łączy międzysatelitarnych satelita musi widzieć jednocześnie użytkownika i stację naziemną, więc nad oceanem albo Antarktydą jest bezużyteczny. Z łączami tworzy się sieć w kosmosie, po której dane wędrują od satelity do satelity aż nad najbliższą stację. Europejska Agencja Kosmiczna rozwija własny program tego rodzaju pod nazwą HydRON, opisując go jako światłowód na niebie.

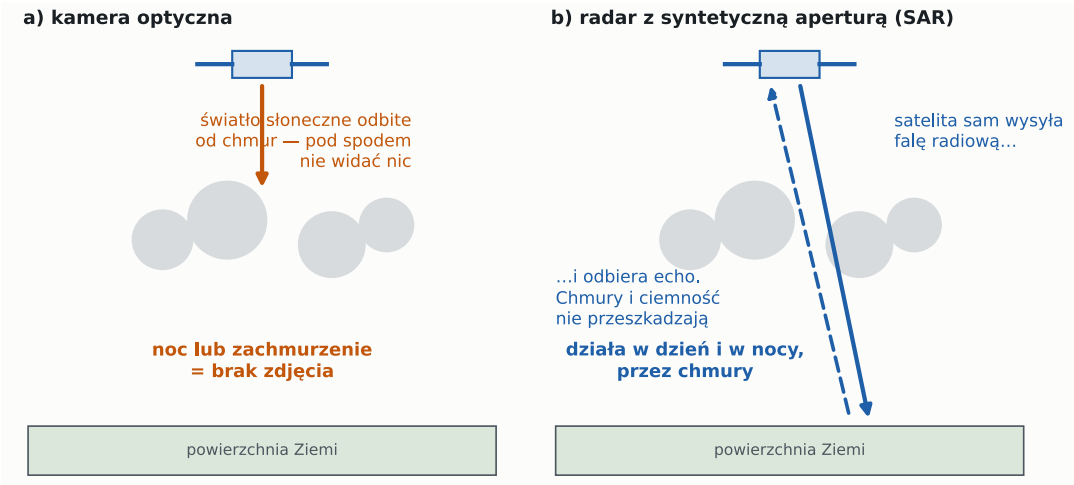
Europa buduje też własną konstelację łącznościową IRIS². W sierpniu 2026 roku Komisja Europejska ogłosiła jej rozszerzenie do 348 satelitów – 330 na wyższej orbicie niskiej

	GPS Stany Zjednoczone	GLONASS Rosja	Galileo Unia Europejska	BeiDou Chiny
satelity w konstelacji nominalnej	24	24	24 + zapasowe	24 MEO + 6
wysokość orbity	20 180 km	19 100 km	23 222 km	21 500 km
okres obiegu	11 h 58 min	11 h 16 min	14 h 05 min	12 h 53 min
nachylenie orbity	55°	64,8°	56°	55°
pierwsza pełna zdolność operacyjna	1995	1995	2016 (wstępna)	2020

Odbiornik w telefonie korzysta dziś ze wszystkich czterech systemów naraz.

Rysunek 21. Opóźnienie sygnału wynikające z samej odległości, obliczone dla prędkości światła, oraz zmierzona mediana opóźnienia w konstelacji niskiej według danych operatora. Różnica między teorią a pomiarem to wkład sieci naziemnej

eprasa.pl 360946405d



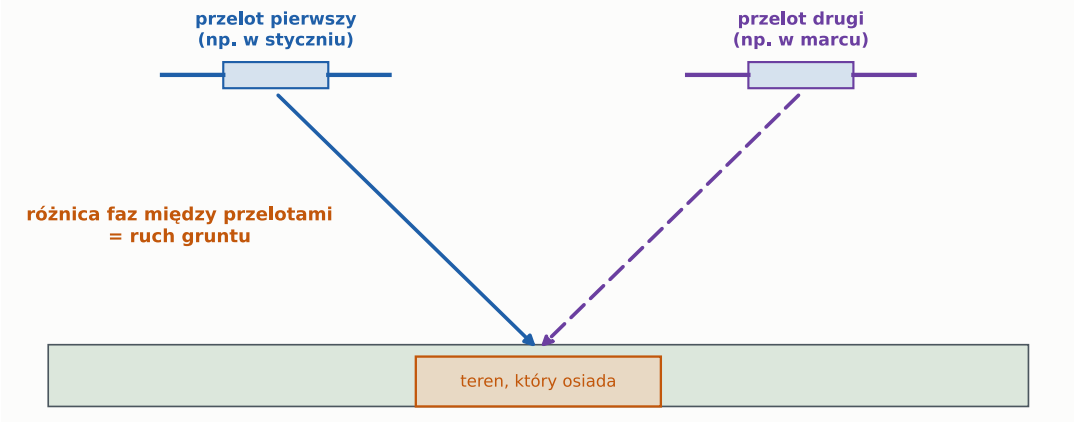
Rysunek 22. Dwa sposoby patrzenia na Ziemię. Kamera optyczna rejestruje odbite światło słoneczne, więc potrzebuje dnia i bezchmurnego nieba. Radar sam oświetla teren falą radiową i odbiera echo, dzięki czemu pracuje niezależnie od pory doby i pogody

i 18 na orbicie średniej – z pierwszymi startami zapowiedzianymi na 2029 rok. Amazon rozwija własną konstelację, nazwaną Leo, do niedawna znaną pod nazwą Kuiper. To właśnie te programy są tłem sporu, o którym była mowa w otwarciu numeru.

Ostatnia nowość w tej dziedzinie to łączność prosto z telefonem, bez żadnego terminalu pośredniczącego. Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny opisuje cztery konkurencyjne podejścia do tego zadania: od klasycznej łączności satelitarnej w pasmach do tego przeznaczonych, przez wykorzystanie istniejących satelitów geostacjonarnych, po satelity z antenami o powierzchni ponad dwustu metrów kwadratowych i satelity nadające w pasmach wykupionych od operatorów naziemnych. Docelowo zwykły telefon ma nie zauważyć różnicy między zasięgiem z masztu a zasięgiem z orbity.

Obserwacja Ziemi: radar, optyka i milimetry

Trzecia dziedzina jest najmniej widoczna, a być może najbardziej pożyteczna. Satelity obserwacyjne dzielą się na dwie rodziny, które widzą świat w zupełnie inny sposób.



Rysunek 23. Zasada interferometrii radarowej. Satelita wraca nad to samo miejsce co dwanaście dni i jest utrzymywany na torze z dokładnością do stu dwudziestu metrów – bez tej precyzji metoda by nie zadziałała. Porównanie fazy odbitej fali z obu przelotów pozwala zmierzyć przesunięcie gruntu z dokładnością do milimetrów na rok

eprasa.pl 360946405d



Kamera optyczna działa jak każdy aparat fotograficzny: rejestruje światło słoneczne odbite od powierzchni. Daje obraz, który człowiek rozumie bez tłumaczenia, i pozwala mierzyć barwę, a z niej kondycję roślinności czy zanieczyszczenie wody. Wymaga jednak dnia i bezchmurnego nieba, a nad Polską w listopadzie to wymaganie bywa nie do spełnienia przez tygodnie.

Radar z syntetyczną aperturą, w skrócie SAR od angielskiego Synthetic Aperture Radar, nie ma tego kłopotu, bo sam wysyła falę radiową i odbiera echo. Chmury dla fali o długości kilku centymetrów są przezroczyste, a pora doby nie ma znaczenia. Europejskie satelity Sentinel-1 pracują w paśmie C na częstotliwości 5,405 gigaherca, z orbity heliosynchronicznej na wysokości 693 kilometrów, osiągając rozdzielczość do pięciu metrów przy pasie obrazowania sięgającym czterystu kilometrów.

Prawdziwa magia zaczyna się jednak wtedy, gdy porówna się dwa przeloty nad tym samym miejscem.

Fala radiowa jest falą, więc ma fazę. Jeżeli grunt między jednym a drugim przelotem obniżył się o kilka milimetrów, droga fali wydłużyła się o te kilka milimetrów, a faza odbitego sygnału przesunęła się o odpowiedni ułamek okresu. Porównując fazę z dwóch przelotów, można zmierzyć ruch gruntu z dokładnością nieosiągalną dla żadnej metody naziemnej o podobnym zasięgu.

Na tej zasadzie działa europejska usługa monitorowania ruchów gruntu, która pokrywa jednolitym pomiarem cały kontynent i jest dostępna publicznie. Widać na niej osiadanie terenu nad wyrobiskami górniczymi, ruchy osuwisk, deformacje wokół budowanych linii metra i powolne obniżanie się miast pompujących wodę z warstw podziemnych. To jest zresztą dobry pomysł na sprawdzenie tej technologii samodzielnie: przeglądarka usługi jest otwarta i można w niej odnaleźć własną miejscowość.

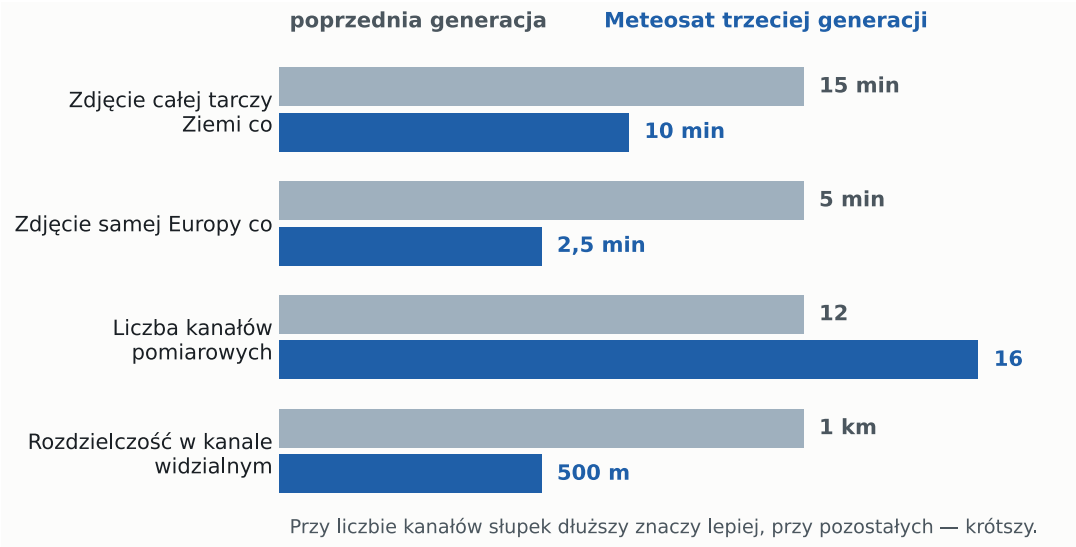
Pogoda: najbardziej niedoceniany produkt kosmiczny

Na koniec rzecz, z której korzystają wszyscy i której nikt nie wiąże z kosmosem. Prognoza pogody jest produktem satelitarnym – i to produktem, którego jakość w ostatnich latach skokowo wzrosła.

Europejskie satelity Meteosat trzeciej generacji fotografują pełną tarczę Ziemi co dziesięć minut, a samą Europę co dwie i pół minuty, w szesnastu zakresach widma i z rozdzielczością dwukrotnie lepszą niż poprzednia generacja. Do tego doszedł przyrząd, jakiego Europa wcześniej nie miała: detektor wyładowań atmosferycznych, który robi tysiąc zdjęć na sekundę przez całą dobę i pozwala śledzić rozwój burzy w czasie rzeczywistym.

Drugą nogą systemu są satelity na orbicie okołobiegunowej, przelatujące nad każdym punktem planety dwa razy na dobę i mierzące

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 24. Skok możliwości między drugą a trzecią generacją europejskich satelitów meteorologicznych Meteosat. Dane według materiałów organizacji EUMETSAT, eksploatującej te satelity

pionowe profile temperatury i wilgotności. Jeden z przyrządów na pokładzie nowej generacji tych satelitów robi to w sposób, który pięknie domyka całą tę część numeru: mierzy, jak sygnały GPS-u i Galileo zaginają się, przechodząc przez atmosferę po skosie. Z wielkości tego zagięcia wylicza się temperaturę i wilgotność na kolejnych wysokościach. Nawigacja satelitarna służy więc mimochodem do prognozowania pogody.



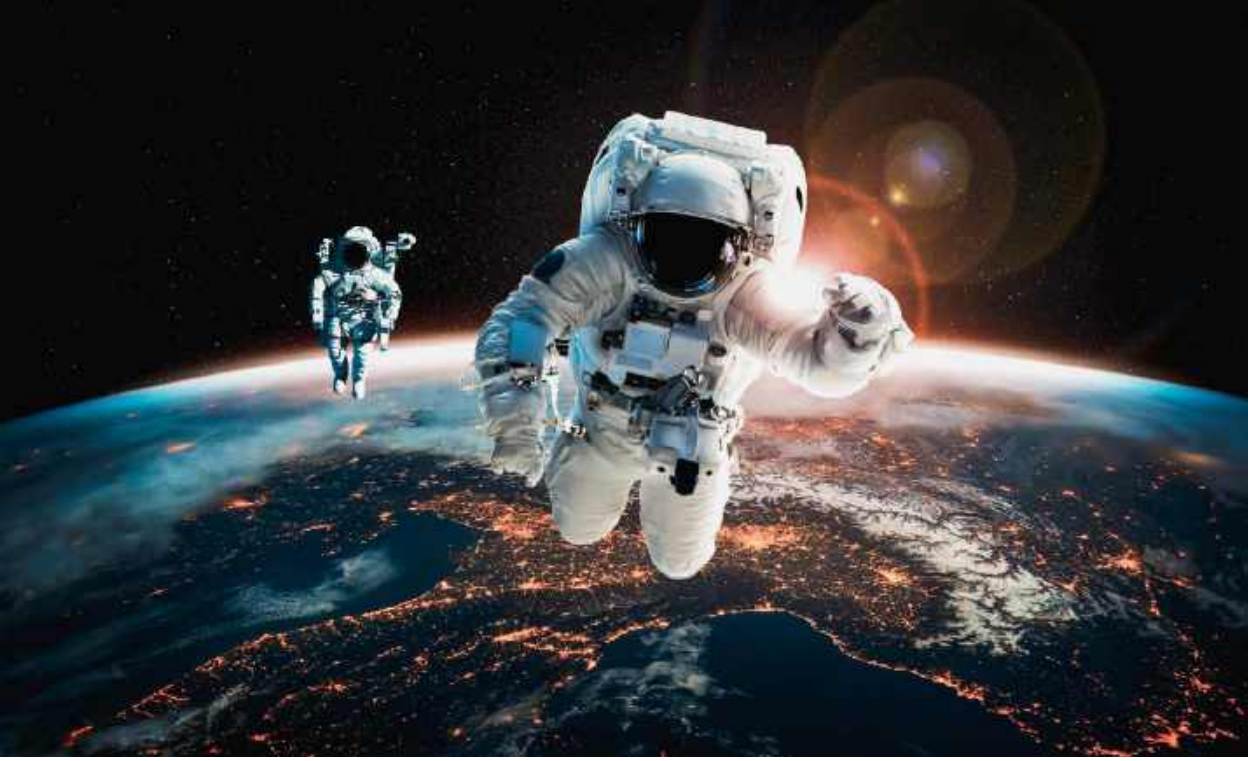
Ile to jest warte, można policzyć. Organizacja eksploatująca europejskie satelity meteorologiczne oszacowała w analizie korzyści społeczno-gospodarczych, że stosunek korzyści do kosztów dla dwóch jej programów wynosi trzydzieści trzy do jednego: przy kosztach rzędu 1,3 miliarda euro korzyści sięgają 44 miliardów. To są pieniądze niewydane na straty od powodzi, huraganów i mrozów, które udało się przewidzieć wystarczająco wcześnie.

Dlaczego to jest rzecz pospolita

Zbierzmy to razem. Sygnał czasu z satelitów nawigacyjnych trzyma w ryzach sieć energetyczną, telefonię i rozliczenia bankowe – niezależnie od tego, w którym kraju stoi transformator. Satelity meteorologiczne nie pytają o paszport, a ostrzeżenie przed huraganem wypracowane z danych europejskiego satelity ratuje życie tak samo po obu stronach każdej granicy. Radar Sentinela mierzy osiadanie gruntu pod Warszawą tak samo jak pod Neapolem, a dane są otwarte i każdy może po nie sięgnąć.

W tym sensie kosmos rzeczywiście stał się rzeczą wspólną wszystkich narodów, i to nie z powodu jakiejś deklaracji, tylko dlatego, że inaczej się nie da: orbita nie zatrzymuje się nad granicą. W następnych częściach zobaczymy jednak, że tam, gdzie zaczyna się pytanie, kto to wszystko buduje i kto o tym decyduje, obraz robi się znacznie mniej zgodny. ■

eprasa.pl/360946405d



Człowiek na orbicie

Od 2 listopada 2000 roku nie było ani jednego dnia, w którym nad naszymi głowami nie mieszkałby człowiek. Międzynarodowa Stacja Kosmiczna jest zamieszkana nieprzerwanie od ponad ćwierćwiecza – przewinęło się przez nią ponad dwieście osiemdziesiąt osób z przeszło dwudziestu pięciu krajów, wykonano na niej ponad cztery tysiące eksperymentów. To najdłuższa nieprzerwana obecność człowieka poza Ziemią w historii i, jak się właśnie okazuje, obecność mająca swój termin końcowy.

Ten rozdział jest o tym, co trzeba zrobić, żeby człowiek mógł przebywać w kosmosie: jak się go poi i czym oddycha, w co się go ubiera przed wyjściem na zewnątrz, co z nim po drodze robi nieważkość i promieniowanie – i co się stanie, kiedy stacja przestanie istnieć.

Dom, który trzeba przywieźć w całości

Na Ziemi woda i powietrze są za darmo, bo planeta ma je w obiegu od miliardów lat. Na orbicie wszystko, co człowiek wypije i czym odetchnie, musi tam najpierw przylecieć rakietą. Kilogram ładunku wyniesiony na orbitę kosztuje kilka tysięcy dolarów, a dorosły człowiek potrzebuje blisko czterech litrów wody dziennie – na picie, jedzenie i higienę. Czteroosobowa załoga zużywa więc blisko sześć ton wody rocznie. Wożenie tego z Ziemi byłoby absurdem, więc wodę na stacji się odzyskuje.

Odzysk obejmuje wszystko: wilgoć skroploną z powietrza, czyli parę z oddechu i potu załogi, oraz mocz, który jest destylowany. Powstającą przy destylacji solankę jeszcze niedawno wyrzucano; od 2023 roku odzyskuje się wodę także z niej i dzięki temu segment amerykański stacji odzyskuje dziś 98 procent wody. Z Ziemi trzeba dowieźć już tylko brakujące dwa procent.

Wielu ludzi wzdryga się na myśl o piciu wody odzyskanej z moczu, więc warto powiedzieć wprost, jak to wygląda: woda wychodząca z tej

eprasa.pl 360946405d

Pierwsi ludzie w kosmosie

12 kwietnia 1961 roku Jurij Gagarin wystartował na pokładzie statku Wostok 1 i okrążył Ziemię jeden raz. Cały lot trwał 108 minut, czyli godzinę i czterdzieści osiem minut od startu do lądowania. Statek leciał całkowicie automatycznie, bo nikt jeszcze nie wiedział, czy człowiek zachowa w nieważkości zdolność do pracy. Kapsuła nie miała też sposobu na miękkie przyziemienie: na wysokości około siedmiu kilometrów Gagarin katapultował się i opadł na własnym spadochronie, osobno od statku.

Amerykanie polecieli trzy tygodnie później, ale ich pierwszy lot był o wiele skromniejszy. 5 maja 1961 roku Alan Shepard wzniósł się kapsułą Freedom 7 na wysokość 187 kilometrów i wodował 486 kilometrów od miejsca startu; lot trwał 15 minut i 22 sekundy. Był to lot suborbitalny: rakieta Redstone rozpędziła kapsułę do około 2,3 kilometra na sekundę, co wystarczyło, żeby wyjść poza atmosferę, ale nie żeby się na orbicie utrzymać – do tego potrzeba blisko ośmiu kilometrów na sekundę. Shepard był więc pierwszym Amerykaninem w kosmosie, ale nie na orbicie. Na orbitę poleciał dopiero John Glenn, 20 lutego 1962 roku: trzy okrążenia Ziemi w ciągu 4 godzin i 55 minut, na wysokości od 161 do 261 kilometrów.

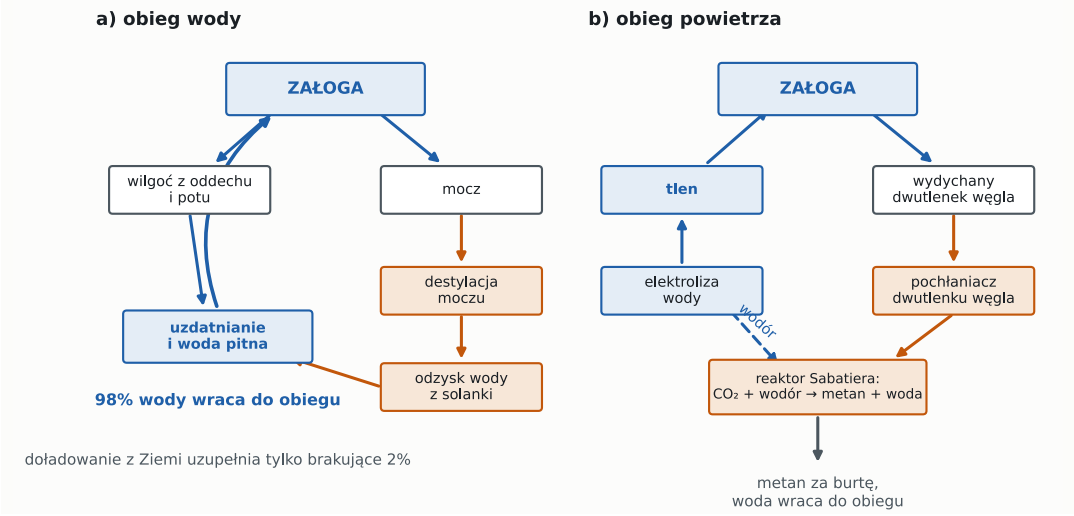
Pierwszą kobietą w kosmosie została Walentina Tierieszkowa. Wystartowała 16 czerwca 1963 roku na Wostoku 6 i spędziła na orbicie ponad 70 godzin, czyli prawie trzy doby, wykonując 48 okrążeń Ziemi. Warto tę liczbę z czymś zestawić: w jednym locie przebywała w kosmosie dłużej niż wszyscy amerykańscy astronauci, którzy polecieli przed nią, razem wzięci. Z zawodu była włókniarką, a spadochroniarstwo uprawiała amatorsko – i właśnie skoki spadochronowe zadecydowały o przyjęciu jej do oddziału kosmonautów, bo lot Wostokiem kończył się katapultowaniem i lądowaniem na spadochronie.

Potem przez dziewiętnaście lat w kosmosie nie było ani jednej kobiety. Drugą była Swietłana Sawicka, która wystartowała 19 sierpnia 1982 roku, a pierwszą Amerykanką – Sally Ride, 18 czerwca 1983 roku.

Warto na koniec zauważyć, jak te daty wyglądają z dzisiejszej perspektywy. 12 kwietnia jest dziś Międzynarodowym Dniem Lotów Kosmicznych Człowieka, ustanowionym rezolucją Zgromadzenia Ogólnego ONZ z 2011 roku. Lot, który w 1961 roku był wydarzeniem jednego państwa i argumentem w zimnej wojnie, pół wieku później stał się formalnie świętem wszystkich narodów.

instalacji jest czystsza niż woda z kranu w większości miast, bo przechodzi przez destylację, filtrację katalityczną i utlenianie. Astronauci komentują to zwykle jednym zdaniem: dzisiejsza kawa to wczorajsza kawa.

Powietrze krąży podobnie. Tlen wytwarza się przez elektrolizę wody: prąd z paneli słonecznych rozkłada ją na tlen, który idzie do kabiny, i wodór, który dawniej wyrzucano za burtę. Wydychany dwutlenek węgla wychwytuje pochłaniacz. Oba



Rysunek 25. Obieg wody i powietrza na stacji kosmicznej. Wilgoć z oddechu i potu oraz mocz wracają do obiegu jako woda pitna; z części wody wytwarza się tlen, a wydychany dwutlenek węgla jest w reaktorze Sabatiera łączony z wodorem w metan i wodę. Schematy uproszczone – pominięto zbiorniki buforowe i instalacje awaryjne

eprasa.pl 360946405d

te strumienie spotykają się w reaktorze Sabatiera, gdzie dwutlenek węgla i wodór łączą się w metan i wodę – metan idzie za burtę, a woda wraca do obiegu. Dokładnie tę samą reakcję rozważa się dziś jako sposób wytwarzania paliwa rakietowego na Marsie – z dwutlenku węgla tamtejszej atmosfery i przywiezionego z Ziemi wodoru.

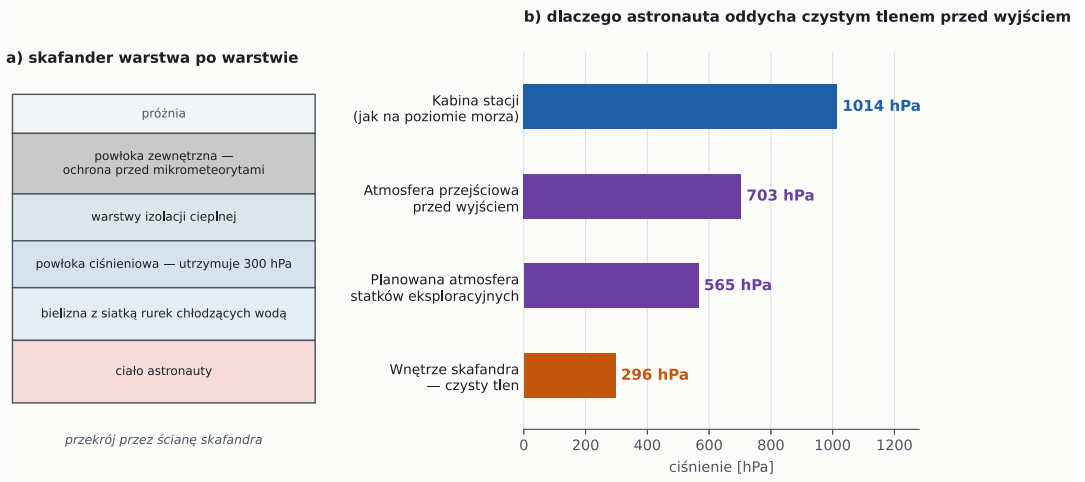
Skafander to pojazd jednoosobowy

Skafander do wyjścia na zewnątrz nie jest ubraniem. Jest najmniejszym statkiem kosmicznym, jaki zbudowano: ma własną atmosferę, własne zasilanie, własne chłodzenie, łączność i zapas tlenu na kilka godzin. Waży ponad sto kilogramów, co na orbicie nie ma znaczenia, ale na Księżycu już owszem.

Kłopot ze skafandrem jest z pozoru banalny: im wyższe ciśnienie w środku, tym bezpieczniej dla człowieka, ale tym sztywniejszy skafander. Napompowany do ciśnienia kabinowego byłby sztywny jak opona i astronauta nie zgiąłby w nim palca. Dlatego panuje w nim tylko około 300 hektopaskali – mniej więcej jedna trzecia ciśnienia na poziomie morza – i jest w nim czysty tlen, żeby przy tak niskim ciśnieniu dostarczyć organizmowi tyle samo tlenu, co zwykłe powietrze.

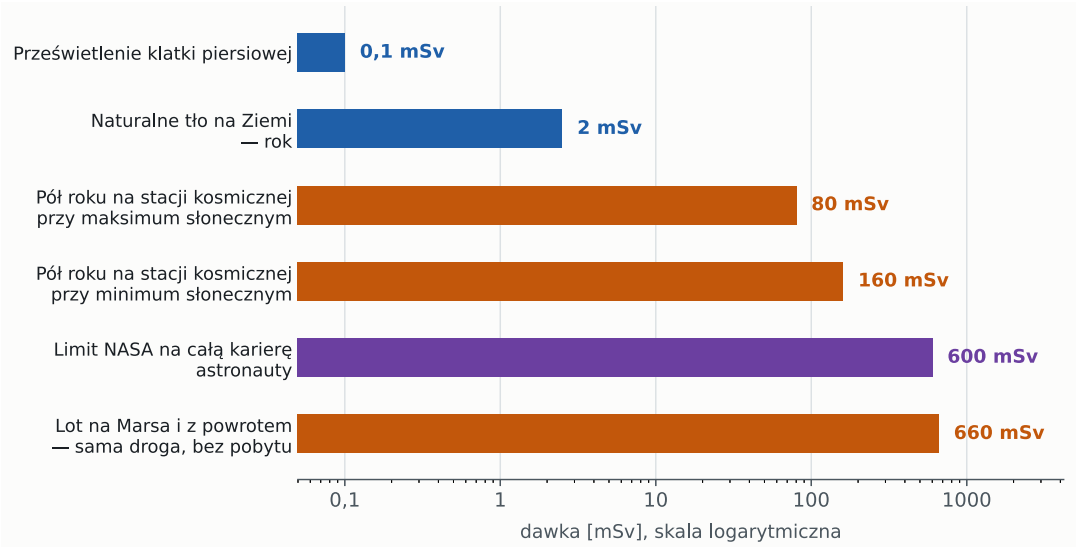
I tu pojawia się problem znany każdemu nurkowi. W kabinie stacji panuje ciśnienie jak na poziomie morza, czyli około 1014 hektopaskali, a w krwi astronauty jest rozpuszczony azot. Gwałtowne przejście do 300 hektopaskali spowodowałoby, że azot zacząłby się





Rysunek 26. Po lewej przekrój przez ścianę skafandra. Po prawej powód, dla którego astronauta nie może po prostu wyjść na zewnątrz: różnica ciśnień między kabiną a wnętrzem skafandra jest tak duża, że wymaga wielogodzinnego przygotowania organizmu

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 27. Dawki promieniowania w porównaniu. Skala jest logarytmiczna, bo inaczej pierwsze dwie pozycje byłyby niewidoczne. Dane o pobycie na stacji według Królewskiego Obserwatorium Belgii, limit kariery według normy NASA, dawka w locie na Marsa zmierzona przyrządem na pokładzie łazika Curiosity

wydzielać w postaci pęcherzyków – to jest choroba dekompresyjna, ta sama, która zabija nurków wynurzających się za szybko. Dlatego przed każdym wyjściem astronauta przez kilka godzin oddycha czystym tlenem, wypłukując azot z organizmu. Klasyczny protokół to cztery godziny; alternatywą jest nocleg w śluzie przy obniżonym ciśnieniu, który skraca poranne przygotowanie.

Właśnie dlatego statki przeznaczone do eksploracji Księżyca i Marsa mają mieć atmosferę o ciśnieniu około 565 hektopaskali z podwyższoną zawartością tlenu. Różnica względem skafandra jest wtedy na tyle mała, że przedodychanie niemal znika – a przy misji księżycowej, gdzie wyjść na powierzchnię ma być kilka dziennie, to jest różnica między programem wykonalnym a niewykonalnym.

Skafandry używane dziś na stacji pochodzą z lat siedemdziesiątych i są wielokrotnie naprawiane. Ich następca, budowany dla programu księżycowego, przeszedł już ponad siedemset godzin testów ciśnieniowych z człowiekiem w środku. Warto przy tym odnotować rzecz, która w 2026 roku niepokoi amerykańską kontrolę wewnętrzną: z dwóch firm, które miały te skafandry dostarczyć, jedna wycofała się z powodu opóźnień i został jeden dostawca. Cały program księżycowy i obsługa stacji zależą więc od jednego wykonawcy.

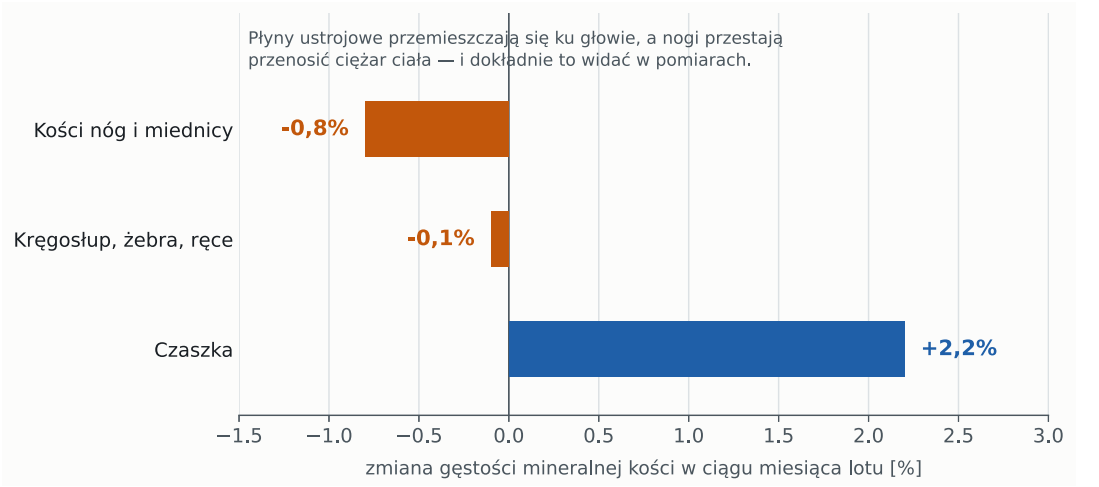
Co kosmos robi z ciałem

Pierwszym zagrożeniem jest promieniowanie. Ziemia chroni nas nie tylko atmosferą, ale i polem magnetycznym, które odchyla naładowane cząstki. Stacja kosmiczna krąży jeszcze wewnątrz tej tarczy, więc jej załoga jest chroniona częściowo – ale już nie całkowicie.

Półroczny pobyt na stacji oznacza dawkę od 80 do 160 milisiwertów, zależnie od fazy cyklu słonecznego – paradoksalnie mniej przy maksimum aktywności Słońca, bo wzmożony wiatr słoneczny odsuwa od Układu Słonecznego promieniowanie galaktyczne. Dla porównania naturalne tło na Ziemi daje 2 do 3 milisiwertów rocznie, a jedno prześwietlenie klatki piersiowej to jedna dziesiąta milisiwerta. Astronauta w pół roku zbiera więc tyle, co przeciętny mieszkaniec Ziemi przez kilkadziesiąt lat.

Norma NASA ogranicza dawkę zebraną przez astronautę w ciągu całej kariery do 600 milisiwertów. Zestawmy to z liczbą zmierzoną przez przyrząd lecący na Marsa na pokładzie łazika Curiosity: sama droga w obie strony, bez pobytu na planecie, daje około 660 milisiwertów. Jedna wyprawa marsjańska wyczerpuje więc dopuszczalną dawkę na całe życie zawodowe – i to jest dziś jedna z twardszych przeszkód w planowaniu takiej misji. Nie umiemy tego rozwiązać inaczej niż grubą osłoną, a gruba osłona to masa, za którą trzeba zapłacić paliwem.

eprasa.pl 360946405d

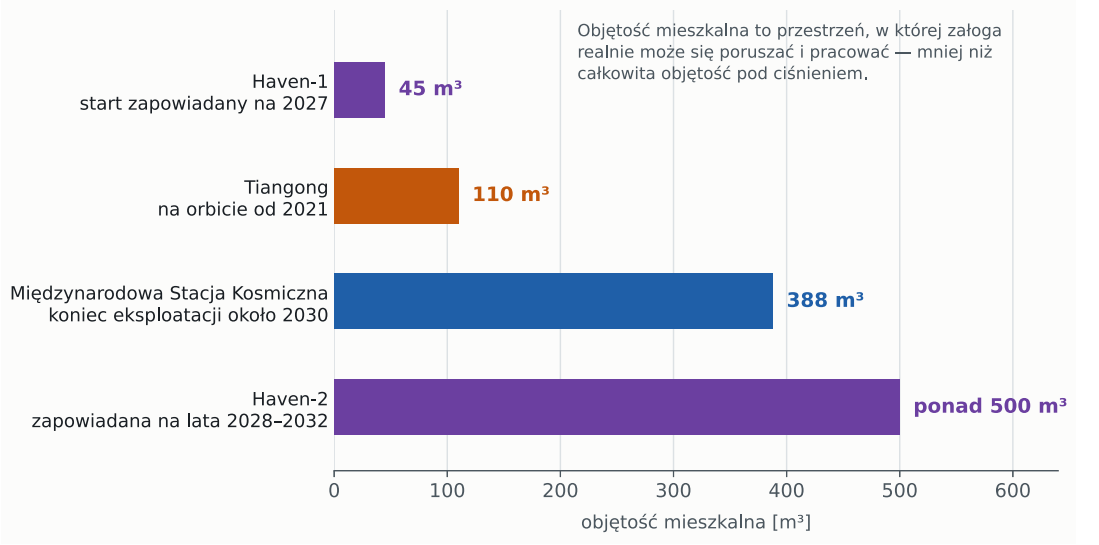


Rysunek 28. Zmiana gęstości mineralnej kości podczas lotu kosmicznego, w procentach na miesiąc. Wartości z metaanalizy dwudziestu pięciu prac obejmującej blisko stu pięćdziesięciu astronautów, opublikowanej w czasopiśmie npj Microgravity

Drugim zagrożeniem jest sama nieważkość. Ciało człowieka jest zbudowane tak, żeby przez całe życie walczyć z grawitacją, i kiedy grawitacja znika, organizm szybko rezygnuje z niepotrzebnych kosztów.

Kości nóg i miednicy tracą mniej więcej osiem dziesiątych procenta masy mineralnej miesięcznie, bo przestają przenosić ciężar ciała. Kręgosłup i kończyny górne tracą znacznie mniej. Czaszka natomiast – i to jest najbardziej zaskakujący wynik tych badań – zyskuje ponad dwa procent, bo płyny ustrojowe przemieszczają się w nieważkości ku głowie. Te same przemieszczone płyny odpowiadają prawdopodobnie za dolegliwość, którą NASA uznaje dziś za główne ryzyko zdrowotne lotów długotrwałych: zespół oczno-mózgowy, polegający na trwałej zmianie kształtu gałki ocznej i pogorszeniu wzroku u części astronautów.

Przeciwdziałanie jest proste w pomyśle i uciążliwe w wykonaniu: dwie godziny ćwiczeń dziennie, obowiązkowo, z użyciem przyrządu, który



Rysunek 29. Stacje kosmiczne według objętości mieszkalnej. Dane producentów i agencji kosmicznych; terminy są zapowiedziami, a nie faktami – przy stacjach komercyjnych przesuwały się już wielokrotnie

eprasa.pl 360946405d

zastępuje ciężary oporem siłowników. Kości i mięśnie da się w ten sposób w dużej mierze uratować. Oczu i układu nerwowego – jeszcze nie.

Koniec stacji i co po niej

Międzynarodowa Stacja Kosmiczna kosztuje około trzech miliardów dolarów rocznie i jest konstrukcją starszą, niż wygląda: najstarsze moduły mają blisko trzydzieści lat, a w segmencie rosyjskim od lat łata się nieszczelności w tunelu łączącym. Zapadła decyzja, że około 2030 roku stacja zakończy pracę.

Zejścia z orbity nie można zostawić przypadkowi, bo mówimy o konstrukcji o masie czterystu trzydziestu ton i rozpiętości stu dziewięciu metrów, której szczątki po niekontrolowanym wejściu w atmosferę rozsypałyby się na obszarze wielu tysięcy kilometrów. Dlatego zbudowany zostanie osobny pojazd deorbitujący – przerobiony statek towarowy z wydłużoną sekcją napędową, z czterdziestoma sześcioma silniczkami i około szesnastoma tonami paliwa, czyli sześciokrotnie większym zapasem niż w wersji zwykłej. Kontrakt opiewa na kwotę do 843 milionów dolarów. Pojazd ma zadokować do stacji mniej więcej w połowie 2029 roku. Samo sprowadzenie na Ziemię nastąpi na przełomie 2030 i 2031: stacja przez pół roku będzie opadać, a potem seria hamowań wprowadzi ją w atmosferę nad pustym obszarem Pacyfiku. Ślad szczątków będzie długi na około 1900 kilometrów.

Co potem? Amerykańska agencja postawiła na stacje komercyjne, ale audyt z czerwca 2026 roku stwierdza rzecz niepokojącą: na ten program w latach 2026–2031 dostępne jest od jednego do półtora miliarda dolarów, co według samej agencji może wystarczyć na dokończenie jednej stacji, a nie kilku.

Najbardziej zaawansowana jest Haven-1, niewielka stacja o objętości mieszkalnej 45 metrów sześciennych, przeznaczona dla czterech osób na dwutygodniowe pobyty. W lipcu 2026 producent potwierdził start w pierwszym kwartale 2027 roku – wcześniej mówiono o maju 2026, więc termin już się przesunął o rok. Ma być zaczątkiem znacznie większej Haven-2, zapowiadanej na lata 2028–2032. Druga firma, Axiom, rozpoczęła w Turynie spawanie konstrukcji pierwszego modułu swojej stacji.

Zupełnie osobnym torem idą Chiny. Ich stacja Tiangong jest zamieszkana nieprzerwanie od czerwca 2022 roku, ma układ litery T, masę około sześćdziesięciu sześciu ton i objętość mieszkalną około stu dziesięciu metrów sześciennych – czyli mniej więcej jedną trzecią stacji międzynarodowej. Jeśli terminy się utrzymają, jest realna możliwość, że przez pewien czas będzie to jedyna stale zamieszkana stacja na orbicie.

Polak na orbicie: misja Ignis



25 czerwca 2025 roku z Przylądka Canaveral wystartował statek z czteroosobową załogą misji Ax-4, a na jego pokładzie Sławosz Uznański-Wiśniewski – drugi Polak w kosmosie. Misja nosiła nazwę Ignis i trwała dwadzieścia dni, z czego większość na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Statek wykonał około trzystu dwudziestu okrążeń Ziemi i pokonał ponad trzynaście milionów kilometrów. Co ten lot oznaczał dla polskiej nauki i dla polskich firm, opisuje ostatnia część tego tematu numeru.

Fotografia autorstwa Adrian Grycuk – Praca własna, CC BY-SA 3.0 pl, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=127921749

Po co to wszystko

Można zapytać, czy warto utrzymywać ludzi na orbicie, skoro roboty są tańsze i nie trzeba ich poić. Odpowiedź, której udzielają agencje kosmiczne, brzmi: bo wszystkiego, czego uczymy się o człowieku w kosmosie, nie da się nauczyć inaczej. Każda godzina spędzona przez człowieka na orbicie to dane o tym, jak wytrzymałby dłuższą podróż – a bez tych danych rozmowa o locie na Marsa jest rozmową o rysunkach.

Jest też argument prostszy. Przez dwadzieścia pięć lat stacja była miejscem, w którym Amerykanie i Rosjanie pracowali razem nieprzerwanie, także w latach, gdy ich rządy nie rozmawiały ze sobą prawie wcale. Niewiele jest takich miejsc. W następnym rozdziale zobaczymy, że przy powrocie na Księżyc już ich nie ma – tam każdy buduje osobno. ■

eprasa.pl 360946405d

Księżyc i Mars

1 kwietnia 2026 roku z Przylądka Canaveral wystartowała rakieta SLS, od angielskiego Space Launch System, ze statkiem Orion i czteroosobową załogą na pokładzie. Reid Wiseman, Christina Koch, Victor Glover i Kanadyjczyk Jeremy Hansen oblecieli Księżyc i po dziewięciu dobach wodowali u wybrzeży Kalifornii, mając za sobą ponad milion sto tysięcy kilometrów drogi. Misja Artemis II była pierwszym od 1972 roku lotem załogowym poza orbitę okołoziemską.



Wydawałoby się, że skoro ludzie byli na Księżycu pół wieku temu, powrót tam jest kwestią odkurzenia starych planów. Tak nie jest, i warto od razu powiedzieć dlaczego. Apollo było wyprawą: wylądować, zebrać próbki, wrócić, i to zanim zrobi to ktoś inny. Teraz celem jest zostać – a zostawanie gdziekolwiek wymaga zupełnie innej infrastruktury niż odwiedziny tego miejsca na dwa dni. Ta część numeru jest o tym, co trzeba do tego zbudować, i o tym, jak daleko od Księżyca jest Mars – nie w kilometrach, tylko w technice.

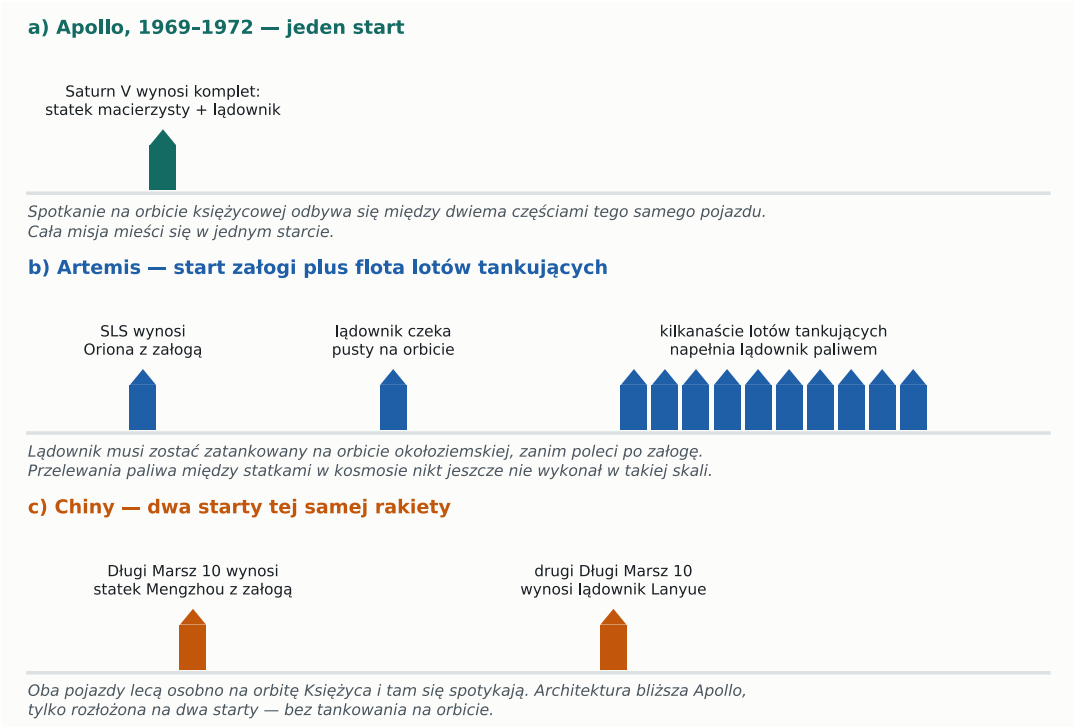
Trzy sposoby na to samo

Lot na Księżyc sprowadza się do tego samego zadania dla każdego, kto się go podejmie: trzeba wynieść na orbitę statek, w którym załoga poleci i wróci, oraz lądownik, którym zejdzie na powierzchnię i wzniesie się z powrotem. Cała różnica między programami polega na tym, ile razy trzeba w tym celu wystartować z Ziemi.

Apollo mieściło się w jednym starcie. Saturn V, rakieta o wysokości stu jedenastu metrów, wynosiła komplet: statek macierzysty i lądownik połączone ze sobą. Spotkanie na orbicie księżycowej odbywało się między dwiema częściami tej samej maszyny, które wystartowały razem. Było to rozwiązanie kosztowne – każdy start Saturna V pochłaniał sumę, którą dziś liczono by w miliardach – ale technicznie zamknięte.

Amerykański program Artemis poszedł inną drogą. Załoga leci Orionem wyniesionym rakietą SLS, ale lądownik jest osobnym pojazdem, który czeka już na orbicie. Kłopot w tym, że lądownikiem ma być Starship – pojazd ogromny, zdolny zabrać na powierzchnię znacznie więcej niż moduł Apollo, ale też taki, który po wejściu na orbitę okołoziemską ma puste zbiorniki. Trzeba je napełnić w kosmosie, przelewając paliwo z kolejno startujących rakiet tankujących. Nikt nigdy nie przetaczał kilkuset ton ciekłego metanu i tlenu między dwoma statkami na orbicie.

Chiny wybrały rozwiązanie pośrednie, najbliższe Apollo. Dwie rakiety Długi Marsz 10 startują osobno: jedna wynosi statek załogowy Mengzhou, druga lądownik Lanyue. Oba pojazdy lecą samodzielnie w okolice Księżyca i tam



Rysunek 30. Trzy architektury lotu załogowego na Księżyc. Liczba rakiet w środkowym panelu jest przybliżona – SpaceX nie podała, ile dokładnie lotów tankujących będzie potrzebnych, a szacunki krążące w dokumentach NASA mieszczą się mniej więcej w przedziale od dziesięciu do dwudziestu

eprasa.pl 360946405d

się spotykają. Żadnego tankowania, żadnej nowej technologii poza samą rakietą – za to dwa starty ciężkiej rakiety w krótkim odstępie, co samo w sobie jest wymagające.

Ta różnica w architekturze tłumaczy, dlaczego terminy amerykańskie się przesuwają. W marcu 2026 roku NASA ogłosiła przebudowę całego programu. Artemis III, który miał być pierwszym lądowaniem, jest teraz lotem próbnym na orbicie okołoziemskiej: załoga ma przećwiczyć spotkanie i cumowanie z lądownikami obu firm – SpaceX i Blue Origin – i sprawdzić, jak sprzęt zachowuje się z człowiekiem w środku. Lądowanie przesunięto na misje Artemis IV i V, zapowiadane na 2028 rok.

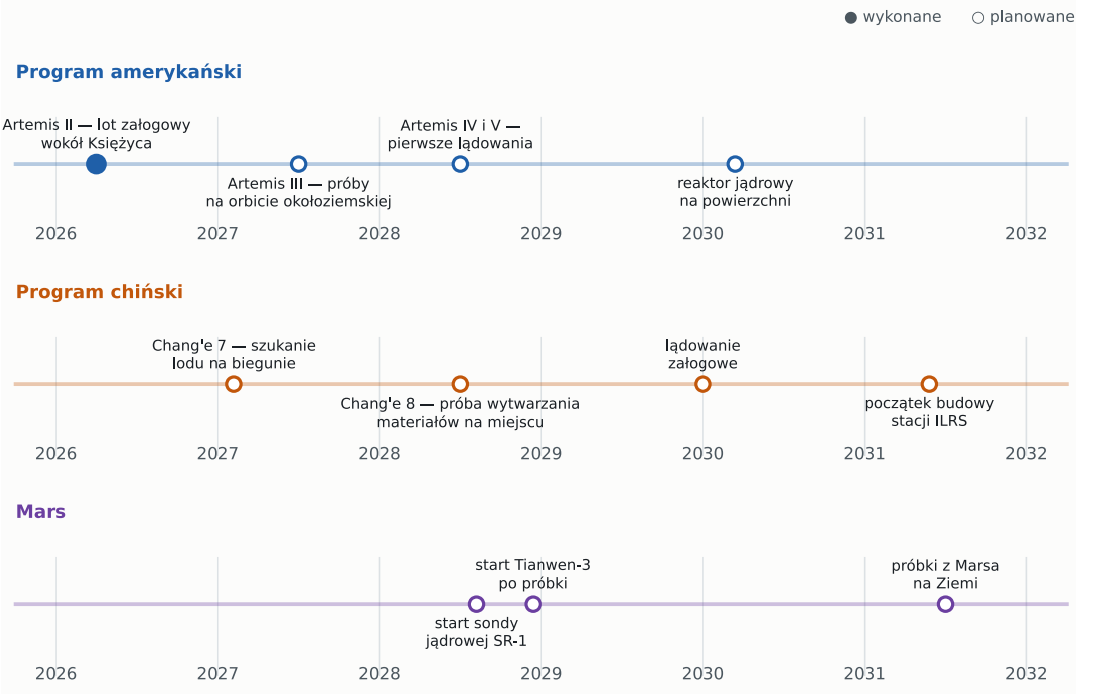
Przy tej samej okazji zapadła decyzja o stacji Gateway, planowanej od lat jako mały dworzec na orbicie Księżyca. Program wstrzymano, a pieniądze przeniesiono na infrastrukturę stawianą bezpośrednio na powierzchni. Trzy fazy, dziesięć lat, około dwudziestu miliardów dolarów w ciągu siedmiu z nich: najpierw bezzałogowe lądowniki i łaziki, potem pierwsze trwałe instalacje, wreszcie stała obecność ludzi. Moduły zbudowane dla Gateway mają zostać wykorzystane gdzie indziej – człon napędowy stacji ma posłużyć jako pierwszy międzyplanetarny statek z napędem jądrowym.

Dlaczego wszyscy celują w jedno miejsce

Zarówno Amerykanie, jak i Chińczycy zmierzają w ten sam rejon Księżyca – okolice bieguna południowego. Nie jest to przypadek ani kwestia prestiżu. Chodzi o wodę.

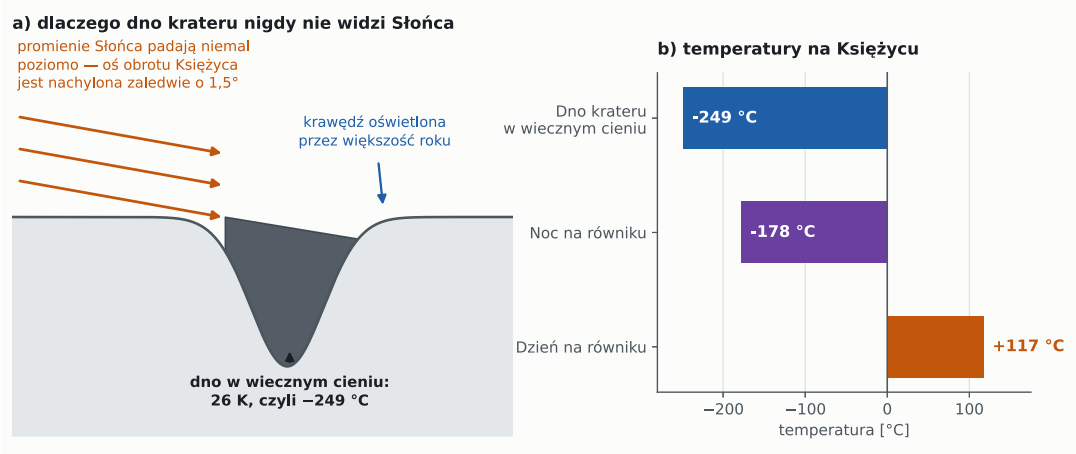
Oś obrotu Księżyca jest nachylona do płaszczyzny ekliptyki, czyli do płaszczyzny, w której Ziemia krąży wokół Słońca, zaledwie o półtora stopnia, podczas gdy oś Ziemi o dwadzieścia trzy i pół. Na Ziemi ta różnica daje pory roku; na Księżycu skutek jest inny i znacznie dziwniejszy. W okolicach biegunów Słońce nigdy nie wznosi się wysoko nad horyzont, więc do wnętrza głębokich kraterów jego promienie nie docierają nigdy. Nie od czasu do czasu – nigdy, odkąd te kratery powstały.

Dno takiego krateru jest jednym z najzimniejszych miejsc, jakie znamy. Przyrząd Diviner na pokładzie sondy LRO zmierzył tam 26 kelwinów, czyli około minus 247 stopni Celsjusza. Dla



Rysunek 31. Zapowiadany harmonogram na najbliższe sześć lat. Wszystkie pozycje poza Artemis II są planami, a plany w tej dziedzinie przesuwają się regularnie o rok lub dwa; daty podano za NASA, Chińską Narodową Agencją Kosmiczną i doniesieniami branżowymi z 2026 roku

eprasa.pl 360946405d

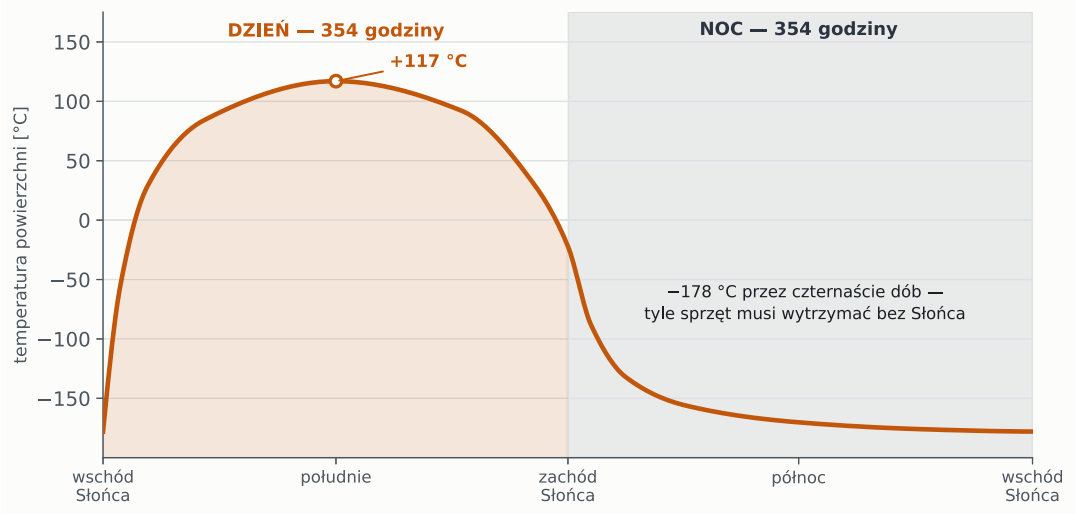


Rysunek 32. Po lewej geometria wiecznego cienia. Po prawej porównanie temperatur; wartość −249°C to najniższa temperatura zmierzona przyrządem Diviner na pokładzie sondy LRO, temperatury równikowe pochodzą z katalogu NSSDC

porównania: na oświetlonej powierzchni Księżyca w południe jest plus 117 stopni. W temperaturze 26 kelwinów lód wodny nie paruje praktycznie w ogóle, więc wszystko, co kiedykolwiek do takiego krateru trafiło – z komet, z meteorytów, z samego Księżyca – leży tam do dziś.

Że rzeczywiście leży, sprawdzono w sposób dosyć brutalny. W październiku 2009 roku NASA skierowała zużyty człon rakiety prosto w krater Cabeus przy biegunie południowym. Uderzenie wyrzuciło w górę chmurę pyłu, przez którą przeleciała druga sonda, mierząc jej skład. W tym, co zostało wybite z gruntu, było mniej więcej pięć i pół procenta lodu wodnego, a oprócz niego amoniak, metan, dwutlenek węgla i związki siarki – ten sam zestaw, który spotyka się w kometach.

Pięć i pół procenta brzmi skromnie, ale proszę policzyć, co to znaczy. Woda to tlen i wodór. Tlen to powietrze do oddychania i utleniacz do silników rakietowych; wodór to paliwo. Tona lodu wydobytego na miejscu zastępuje tonę, której nie trzeba wywieźć z Ziemi – a wyniesienie na Księżyc każdego kilograma kosztuje tyle, że opłaca się zbudować na miejscu kopalnię. Stąd chińska



Rysunek 33. Przebieg temperatury na powierzchni Księżyca w ciągu jednej doby księżycowej, w okolicach równika. Skrajne wartości pochodzą z katalogu NSSDC; kształt krzywej jest schematyczny, bo rzeczywisty przebieg zależy od rodzaju gruntu

eprasa.pl 360946405d



misja Chang'e 7, która ma wylądować na oświetlonej krawędzi krateru Shackleton i wypuścić skaczący próbnik zdolny wskoczyć do zacienionego wnętrza i tam wywiercić otwór. Start przesunięto z sierpnia 2026 roku na początek 2027; misja niesie osiemnaście przyrządów, w tym egipsko-bahrajński spektrometr, rosyjski czujnik pyłu, szwajcarski przyrząd do pomiaru promieniowania Ziemi i włoski reflektor laserowy.

Czternaście dni bez Słońca

Lód to jedna strona bieguna, a druga jest znacznie mniej przyjemna. Księżyc obraca się wokół własnej osi tak wolno, że jego doba trwa niemal dwadzieścia dziewięć i pół doby ziemskiej. Znaczy to, że po dwóch tygodniach dnia następują dwa tygodnie nocy – trzysta pięćdziesiąt cztery godziny ciemności, w których temperatura powierzchni spada do minus stu siedemdziesięciu ośmiu stopni.

Dla urządzenia zasilanego z paneli słonecznych jest to wyrok. Trzysta pięćdziesiąt cztery godziny bez prądu to nie tylko brak zasilania dla przyrządów – to także brak ogrzewania, a elektronika wychłodzona do minus stu siedemdziesięciu stopni zwykle już się nie budzi. Radzono sobie z tym dotąd dwojako: albo lądowano na dwa tygodnie i godzono się z tym, że o zmierzchu misja się kończy, albo wożono niewielkie źródła ciepła z izotopami promieniotwórczymi. Żadne z tych rozwiązań nie nadaje się do zasilania bazy.

Dlatego w planach obu programów pojawiły się reaktory jądrowe. Amerykanie zapowiadają uruchomienie reaktora rozszczepieniowego na powierzchni Księżyca około 2030 roku. Okolice bieguna są pod tym względem uprzywilejowane podwójnie: nie dość, że w kraterach jest lód, to jeszcze niektóre grzbiety górskie w pobliżu są oświetlone przez większość roku, bo Słońce krąży wokół nich nisko nad horyzontem, nie zachodząc. Miejsce, w którym o kilka kilometrów od siebie leżą wieczny cień i niemal wieczne światło, jest na Księżycu rzadkością – i właśnie o takie miejsca toczy się gra.

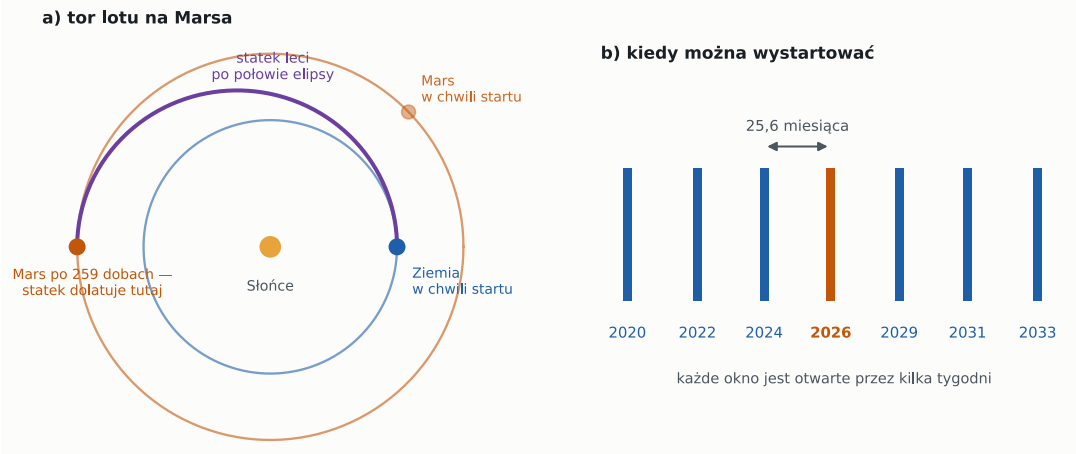
Jest jeszcze jeden przeciwnik, o którym mówi się mniej, a który dał się we znaki już Apollo: pył. Księżycowy regolit to okruchy skalne rozbite przez miliardy lat uderzeń mikrometeorytów, ostre jak tłuczone szkło i naelektryzowane. Wciska się w mechanizmy, rysuje wizjery i przywiera do wszystkiego. Załogi Apollo skarżyły się na niego po każdym wyjściu, a przecież spędzały na powierzchni najwyżej trzy dni. Baza ma tam stać latami.

Mars: okno co dwadzieścia sześć miesięcy

Z Księżycem jest ta wygoda, że jest zawsze dostępny. Krąży wokół Ziemi w odległości niespełna czterystu tysięcy kilometrów, lot trwa trzy doby i wystartować można w zasadzie kiedykolwiek. Z Marsem jest zupełnie inaczej i to jest pierwsza rzecz, którą trzeba o wyprawie marsjańskiej wiedzieć.

Statek lecący na Marsa nie celuje w Marsa. Celuje w miejsce, w którym Mars się znajdzie za kilka

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 34. Po lewej tor lotu po elipsie Hohmanna – najoszczędniejszej trasie między orbitami dwóch planet. Po prawej kolejne okna startowe. Czas przelotu i odstęp między oknami obliczono redakcyjnie z praw Keplera; w praktyce trasy nieco odbiegają od elipsy idealnej i lot trwa od siedmiu do dziewięciu miesięcy

miesięcy – tak jak myśliwy prowadzi lufę przed lecącą kaczkę. Najoszczędniejsza trasa, zwana elipsą Hohmanna od nazwiska niemieckiego inżyniera, który opisał ją w 1925 roku, to połowa elipsy stycznej do obu orbit: statek odrywa się od orbity Ziemi i dolatuje do orbity Marsa dokładnie po drugiej stronie Słońca. Zajmuje mu to dwieście pięćdziesiąt dziewięć dób. Żeby Mars w tym momencie tam był, w chwili startu musi wyprzedzać Ziemię o czterdzieści cztery stopnie.

Taki układ powtarza się co dwadzieścia sześć miesięcy – dokładniej co dwadzieścia pięć i pół, bo wtedy właśnie Ziemia, doganiając Marsa, zyskuje pełne okrążenie względem niego. Poprzednie okno było w listopadzie i grudniu 2024 roku, obecne otwiera się w listopadzie 2026, następne dopiero na przełomie 2028 i 2029. Kto się spóźni, czeka dwa lata – i to nie jest kwestia dobrej woli ani pieniędzy, tylko mechaniki nieba.

Dla misji bezzałogowych to głównie problem organizacyjny. Dla załogowej – fundamentalny. Wyprawa marsjańska nie może zawrócić. Na Księżycu awaria oznacza kilkudniową drogę powrotną, tak jak w przypadku Apollo 13. Na trasie marsjańskiej nie ma dokąd zawrócić: statek jest na orbicie wokół Słońca i wróci na Ziemię wtedy, kiedy pozwoli na to geometria, czyli po latach. Do tego dochodzi opóźnienie łączności: sygnał radiowy idzie w jedną stronę od trzech do dwudziestu dwóch minut, zależnie od tego, gdzie planety są względem siebie. Rozmowa z Ziemią przestaje być rozmową i staje się wymianą listów.

Rok marsjański i pory roku

Skoro mowa o kalendarzu, warto powiedzieć, jak on na Marsie wygląda, bo dla przyszłej załogi będzie to kalendarz obowiązujący. Mars krąży wokół Słońca po orbicie o promieniu półtora raza większym niż ziemska, a ponieważ im dalej od Słońca, tym wolniej, jedno okrążenie zajmuje mu 687 dni ziemskich – prawie dwa nasze lata. Doba marsjańska trwa natomiast 24 godziny i 40 minut, czyli niemal tyle samo co ziemska; astronomowie nazywają ją solem, a marsjański rok liczy niespełna 670 soli.

Ta różnica – rok prawie dwa razy dłuższy przy dobie praktycznie takiej samej – ma konsekwencję, o której łatwo zapomnieć. Zegarek na Marsie będzie chodził niemal normalnie i człowiek zaadaptuje się do niego w kilka dni. Kalendarz natomiast będzie zupełnie obcy: pora roku, która na Ziemi trwa trzy miesiące, na Marsie trwa pół roku z okładem.

Mars ma pory roku i to z tego samego powodu co Ziemia. Jego oś obrotu jest nachylona do płaszczyzny orbity o 25,2 stopnia, czyli niemal dokładnie tyle, co oś ziemska nachylona o dwadzieścia trzy i pół stopnia. To nachylenie sprawia, że przez połowę roku jedna półkula jest zwrócona ku Słońcu bardziej niż druga i dostaje więcej ciepła. Gdyby oś stała prosto – jak na Księżycu, gdzie odchylenie wynosi półtora stopnia – pór roku by nie było.

Na tym jednak podobieństwo się kończy, bo orbita Marsa jest wyraźnie wydłużona. Ziemia krąży niemal po okręgu i jej odległość od Słońca zmienia się w ciągu roku o trzy procent. Mars zbliża się do Słońca na 207 milionów kilometrów i oddala

eprasa.pl 360946405d

na 249 – różnica wynosi jedną piątą. Zgodnie z drugim prawem Keplera planeta porusza się szybciej, gdy jest blisko Słońca, a wolniej, gdy jest daleko. Pory roku na Marsie mają więc bardzo różną długość: wiosna na półkuli północnej trwa 194 sole, lato 178, jesień 142, a zima 154. Najdłuższa pora roku jest o ponad jedną trzecią dłuższa od najkrótszej.

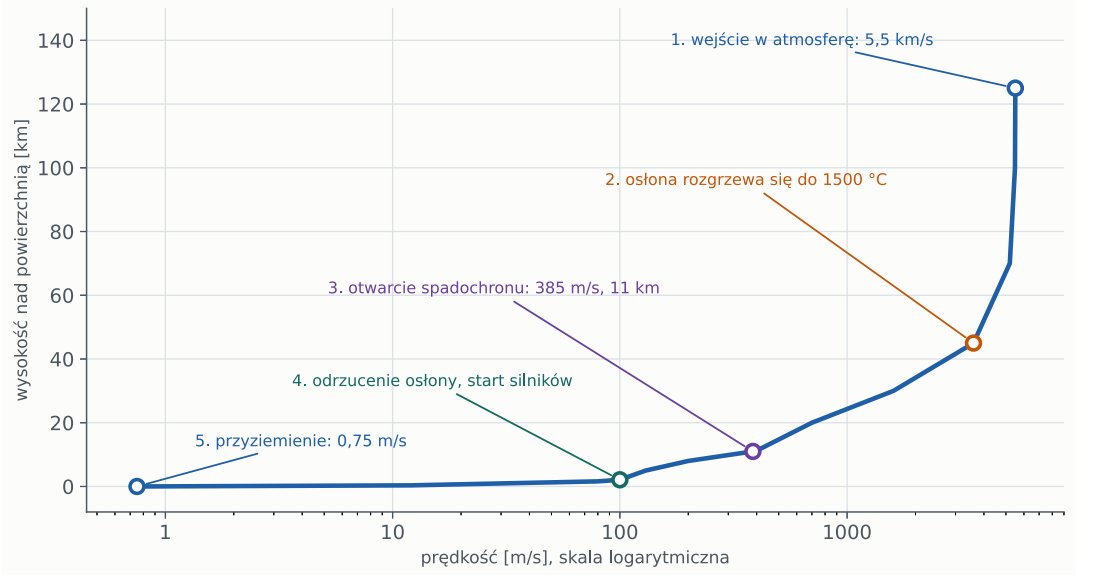
Skutek jest taki, że obie półkule mają zupełnie inny klimat. Mars przechodzi przez punkt najbliższy Słońcu w czasie lata na półkuli południowej – lato jest tam więc krótkie i gorące, a zima długa i mroźna. Na północy jest odwrotnie: lato długie i łagodne, zima krótka. Gdyby ktoś szukał na Marsie miejsca o możliwie znośnym klimacie, powinien patrzeć na północ.

Dla techniki ma to jeden bardzo konkretny skutek. Wielkie burze pyłowe, które potrafią przykryć całą planetę, zdarzają się przede wszystkim wiosną i latem na półkuli południowej, czyli wtedy, gdy Mars jest blisko Słońca i atmosfera dostaje najwięcej energii. Zdarza się to rzadko – średnio trzy razy na dziesięć lat marsjańskich – ale kiedy się zdarzy, niebo ciemnieje na tygodnie. W czerwcu 2018 roku taka burza pozbawiła prądu łazik Opportunity, który jeździł po Marsie czternaście lat, a miał pracować trzy miesiące. Kontaktu nie odzyskano, a misję uznano za zakończoną w lutym 2019 roku. Dla wyprawy załogowej oznacza to, że zasilanie nie może zależeć wyłącznie od Słońca i że termin lądowania trzeba dobierać także z uwagi na to, jaka pora roku panuje wtedy w miejscu docelowym.

Siedem minut

Ostatni odcinek podróży marsjańskiej jest krótki i wyjątkowo nieprzyjemny. Atmosfera Marsa ma przy powierzchni ciśnienie około sześciu i pół hektopaskala, czyli niespełna procent ziemskiego. Jest to najgorsza możliwa wartość: za gęsta, żeby ją zignorować i wyhamować samymi silnikami, jak na Księżycu, i o wiele za rzadka, żeby wyhamować na samych spadochronach, jak na Ziemi.

Statek wchodzi w atmosferę z prędkością około pięciu i pół kilometra na sekundę. Osłona termiczna rozgrzewa się do tysiąca pięciuset stopni, hamując pojazd tarciem o rozrzedzone powietrze. Na wysokości jedenastu kilometrów, przy prędkości wciąż naddźwiękowej – trzystu osiemdziesięciu pięciu metrów na sekundę – otwiera się spadochron. Naddźwiękowe otwarcie spadochronu to osobna dziedzina inżynierii, w której Amerykanie korzystają z rozwiązań wypracowanych dla lądowników Viking w latach siedemdziesiątych. Spadochron nie wystarczy: na kilku kilometrach odrzuca się osłonę i włącza silniki hamujące, a najcięższe łaziki



Rysunek 35. Przebieg lądowania na Marsie. Skala prędkości jest logarytmiczna, bo inaczej cztery ostatnie zdarzenia zlałyby się w jeden punkt. Wartości za materiałami misyjnymi NASA dla lądowników InSight i Perseverance; całość trwa około siedmiu minut, a sygnał radiowy z Marsa idzie na Ziemię kilkanaście minut, więc lądownik musi wykonać całą tę sekwencję samodzielnie

eprasa.pl 360946405d





Tlen z marsjańskiego powietrza

Atmosfera Marsa składa się w 95 procentach z dwutlenku węgla. Jest to gaz, z którego elektrochemicznie można wydzielić tlen – i właśnie po to na pokładzie łazika Perseverance poleciał przyrząd wielkości tostera o nazwie MOXIE, od angielskiego Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment.

Od lądowania w 2021 roku do sierpnia 2023 MOXIE wykonał szesnaście cykli pracy i wyprodukował łącznie 122 gramy tlenu o czystości 98 procent lub lepszej. W najlepszym cyklu dawał 12 gramów na godzinę, dwa razy więcej, niż zakładano przy projektowaniu. To niewiele – mniej więcej tyle, ile przez kilka godzin zużywa niewielki pies – ale nie o ilość tu chodziło.

Chodziło o dowód, że to działa. Statek, który ma wrócić z Marsa, musi zabrać paliwo na drogę powrotną, a większość masy paliwa rakietowego stanowi utleniacz, czyli właśnie tlen. Jeśli tlen da się wytworzyć na miejscu z tego, co i tak jest w atmosferze, statek leci tam znacznie lżejszy. Różnica jest na tyle duża, że przesądza o tym, czy taka wyprawa w ogóle da się zrealizować.

są opuszczane na linach spod zawieszonego w powietrzu członu napędowego, jak ładunek spod śmigłowca.

Cała sekwencja trwa około siedmiu minut. Przez ten czas Ziemia nie wie, co się dzieje – sygnał jest w drodze. Lądownik musi zrobić wszystko sam, a kiedy przychodzi pierwsza wiadomość o wejściu w atmosferę, od dawna jest już albo na powierzchni, albo kraterem. Dlatego właśnie mówi się o „siedmiu minutach grozy".

Ta sama fizyka stawia twardą granicę masie. Dotychczasowe techniki pozwalają posadzić na Marsie ładunek rzędu jednej tony. Statek załogowy z zapasami i paliwem na powrót to dziesiątki ton. Przeskok od tony do dziesiątek ton nie jest kwestią zbudowania większego spadochronu – to zadanie, którego nikt jeszcze nie rozwiązał w praktyce, i jest ono, obok promieniowania w czasie przelotu, głównym powodem, dla którego terminy wypraw załogowych na Marsa przesuwają się od dziesięcioleci.

Kto pierwszy przywiezie próbki

Jest na Marsie kilkadziesiąt tytanowych probówek, których nikt nie odbierze. Łazik Perseverance od 2021 roku wierci, pobiera rdzenie skalne i zamyka je szczelnie, a część odkłada na powierzchni jako zapas. Miała po nie przylecieć wspólna misja NASA i Europejskiej Agencji Kosmicznej. W 2023 roku kosztorys przedsięwzięcia urósł z czterech miliardów dolarów do jedenastu, a termin powrotu próbek przesunął się na rok 2040. Program zawieszono i szukano tańszego rozwiązania; znaleziono dwa warianty po około sześć do siedmiu miliardów. W styczniu 2026 roku amerykańska ustawa budżetowa przecięła dyskusję

eprasa.pl 360946405d

zdaniem, że nie popiera dotychczasowego programu Mars Sample Return.

Chiny zapowiadają tymczasem misję Tianwen-3: start w 2028 roku dwiema rakietami, wiercenie na dwa metry w głąb gruntu, wyniesienie próbek z powierzchni małą rakietą, przechwycenie ich przez orbiter i powrót na Ziemię około 2031 roku. Jest to plan prostszy od amerykańskiego – jedno łatwo dostępne miejsce zamiast starannie wybranego zestawu skał z całego krateru – ale jeśli się powiedzie, pierwsze próbki z innej planety przywiezione zostaną przez Chiny, i to dziewięć lat przed terminem, który jeszcze niedawno figurował w amerykańskich dokumentach.

Trzy światy, trzy zestawy problemów

Warto na koniec zestawić Księżyc i Marsa obok Ziemi, bo dopiero wtedy widać, że to nie są dwa etapy tej samej drogi, tylko dwa różne zadania inżynierskie.

Na Księżyc leci się trzy doby i rozmawia się z Ziemią niemal normalnie, z opóźnieniem sekundy z małym ogonkiem. Za to nie ma tam atmosfery, doba trwa miesiąc, a noc trzysta pięćdziesiąt cztery godziny. Na Marsie jest atmosfera, doba trwa niemal tyle co ziemska, rok prawie dwa razy dłuższy dzieli się na cztery bardzo nierówne pory, a temperatury bywają jak zimą na Syberii – ale lot trwa siedem do dziewięciu miesięcy, okno otwiera się co dwa lata, a na pytanie zadane Ziemi odpowiedź przychodzi po kilkudziesięciu minutach. Księżyc jest trudny technicznie, Mars jest trudny organizacyjnie. Kto umie jedno, nie umie przez to jeszcze drugiego.

I jeszcze jedna rzecz, o której wypada powiedzieć. W 1969 roku na Księżycu lądowało jedno państwo, a drugie próbowało je ubiec. Dziś wokół każdego z dwóch programów księżycowych – amerykańskiego i chińsko-rosyjskiego – skupia się własny krąg państw, które podpisały jeden albo drugi zestaw zasad postępowania w przestrzeni kosmicznej; kto do którego kręgu należy i ilu ich jest, pokazuje część zatytułowana „Mapa świata". Podział jest, rzecz jasna, polityczny, ale sam fakt, że powrót na Księżyc jest przedsięwzięciem kilkudziesięciu państw, a nie dwóch mocarstw, jest różnicą epokową. ■

	Ziemia	Księżyc	Mars
Przyciąganie na powierzchni	1 g	0,17 g	0,38 g
Ciśnienie atmosfery	1013 hPa	praktycznie zero	6,4 hPa
Czym się oddycha	21% tlenu	brak atmosfery	95% dwutlenku węgla
Doba	24 godziny	29,5 doby ziemskiej	24 godziny 40 minut
Rok	365 dni	—	687 dni ziemskich
Nachylenie osi obrotu	23,4°	1,5°	25,2°
Pory roku	tak, prawie równe	praktycznie brak	tak, bardzo nierówne
Temperatura powierzchni	od −89 do +57 °C	od −178 do +117 °C	od −89 do −31 °C
Czas lotu z Ziemi	—	3 doby	7–9 miesięcy
Opóźnienie sygnału (w jedną stronę)	—	1,3 sekundy	od 3 do 22 minut

Rysunek 36. Zestawienie warunków. Dane za katalogami NSSDC i serwisem naukowym NASA; czas lotu na Księżyc podano za misjami programu Apollo, a opóźnienia sygnału obliczono redakcyjnie z odległości i prędkości światła. Nachylenie osi Ziemi i Marsa podano względem płaszczyzny ich własnych orbit, nachylenie osi Księżyca – względem ekliptyki

eprasa.pl 360946405d



Roboty i nauka

Człowiek nie był dalej niż na Księżycu. Wszystko, co wiemy o pozostałych planetach, o ich księżycach, o planetoidach i kometach, przywiozły albo przysłały maszyny. Ten rozdział jest o nich: o tym, jak są zbudowane, dlaczego muszą sobie radzić same i co dokładnie robią z tym, co znajdą.

Listopad 2026 roku jest pod tym względem miesiącem wyjątkowo gęstym. 21 listopada europejsko-japońska sonda BepiColombo po ośmiu latach lotu wejdzie na orbitę wokół Merkurego. W tym samym miesiącu europejska sonda Hera dotrze do planetoidy Didymos, żeby obejrzeć ślady uderzenia sprzed czterech lat. A 18 listopada o 11:16 czasu polskiego Voyager 1 znajdzie się dokładnie o dobę świetlną od Ziemi – będzie pierwszym przedmiotem zbudowanym przez człowieka, który osiągnął taką odległość. Ale o tym na końcu.

Maszyna, która musi myśleć sama

Zacznijmy od rzeczy, która odróżnia robota kosmicznego od każdego innego: od odległości. Sygnał radiowy biegnie z prędkością światła i szybciej biec nie będzie, a to znaczy, że im dalej jest maszyna, tym bardziej jest zdana na siebie.

Rozważmy zwykłe polecenie wysłane łazikowi na Marsie. Zanim dotrze, mija do dwudziestu dwóch minut. Łazik je wykonuje, a potwierdzenie wraca kolejne dwadzieścia dwie minuty. Na jedno pytanie i jedną odpowiedź trzeba więc czasem czterdziestu czterech minut. Gdyby ktoś próbował w ten sposób prowadzić pojazd po nieznanym terenie, każdy metr jazdy kosztowałby godzinę, a pierwszy kamień na drodze oznaczałby koniec misji.

Rozwiązaniem jest autonomia, i to nie w reklamowym, tylko w technicznym znaczeniu tego słowa. Łazik Perseverance ma program o nazwie AutoNav, który robi z obrazu z kamer mapę terenu, wyznacza około tysiąca siedmiuset możliwych tras w promieniu sześciu metrów wokół pojazdu, ocenia je pod względem czasu przejazdu i nierówności gruntu, a następnie dla najlepiej ocenionych sprawdza dokładnie, czy pojazd się zmieści. Robi to wszystko komputerem o mocy obliczeniowej domowego peceta z końca lat dziewięćdziesiątych, bo elektronika wysyłana w kosmos musi być odporna na promieniowanie, a odporne układy są zawsze o kilka pokoleń starsze od tych, które leżą w sklepie.

eprasa.pl 360946405d

Efekt widać w liczbach. Curiosity, który musiał się zatrzymać, żeby pomyśleć, przejechał samodzielnie około sześciu procent swojej drogi. Perseverance, który potrafi jechać i liczyć jednocześnie, pokonał tak dziewięć dziesiątych trasy, a 19 czerwca 2025 roku przejechał bez niczyjej pomocy 412 metrów w ciągu jednej marsjańskiej doby. Poprzedni rekord, ustanowiony przez łazik Opportunity w 2005 roku, wynosił 219 metrów i stał nietknięty przez siedemnaście lat.

Najbardziej brawurowym testem autonomii był jednak nie łazik, tylko helikopter. Ingenuity ważył 1,8 kilograma, miał wirnik o rozpiętości 1,2 metra i poleciał na Marsa jako demonstrator technologii z planem pięciu lotów w ciągu trzydziestu dni. Wykonał ich siedemdziesiąt dwa, spędził w powietrzu 129 minut i przeleciał 17 kilometrów, zanim w styczniu 2024 roku uszkodził łopatę. Każdy z tych lotów odbył się bez udziału człowieka, bo przy opóźnieniu kilkunastu minut nie ma innej możliwości. I odbył się w atmosferze o gęstości poniżej procenta ziemskiej – co znaczy tyle, że lot na wysokości kilku metrów nad Marsem odpowiada lotowi na wysokości trzydziestu kilometrów nad Ziemią, czyli prawie trzy razy wyżej, niż lecą samoloty pasażerskie.

Jak daleko sięgamy

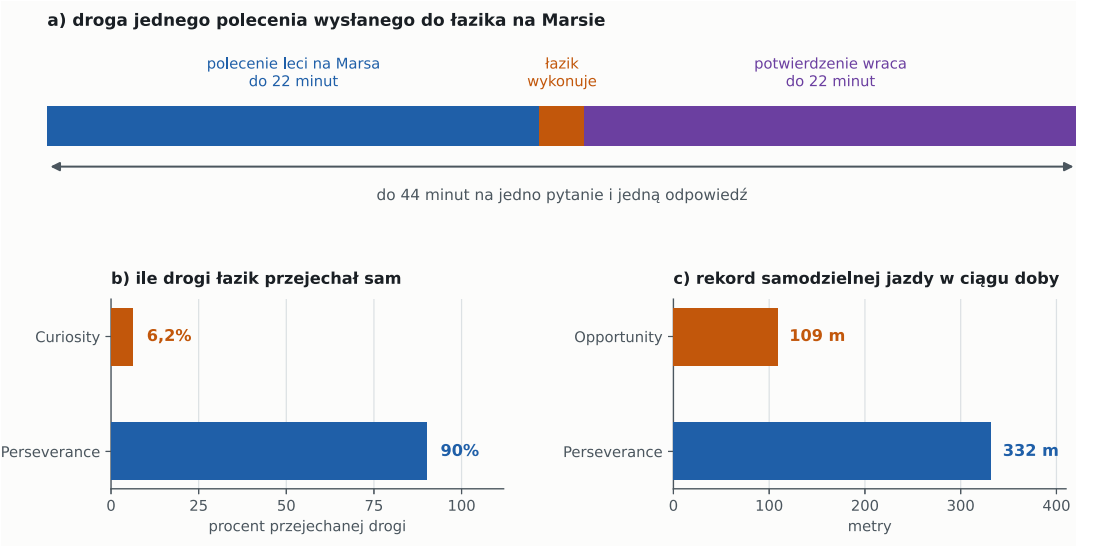
Opóźnienie sygnału jest najlepszą miarą tego, jak daleko sięga dziś nasza technika, bo przelicza kilometry na coś, co człowiek rozumie od razu – na czekanie.

Dla Księżyca to 1,3 sekundy i właśnie dlatego rozmowy z Apollem brzmiały niemal normalnie, choć z zauważalną zwłoką. Dla Marsa od trzech do dwudziestu dwóch minut. Dla Jowisza, dokąd na początku lat trzydziestych tego wieku dotrą sondy Juice i Europa Clipper, około czterdziestu dziewięciu minut. Dla sondy New Horizons, która minęła Plutona i leci dalej – osiem godzin. Dla Voyagerów – kilkanaście i więcej.

Sonda Europa Clipper, wysłana w październiku 2024 roku, jest dobrą ilustracją tego, co te odległości oznaczają w praktyce. Żeby dotrzeć do Jowisza, nie leci do Jowisza. W marcu 2025 roku przeleciała koło Marsa, na początku grudnia 2026 przeleci koło Ziemi, i dopiero te dwa manewry nadadzą jej prędkość wystarczającą, by w kwietniu 2030 roku znaleźć się u celu. Pięć i pół roku drogi. Na miejscu wykona 49 przelotów obok Europy – księżyca Jowisza, podchodząc czasem na 25 kilometrów nad jej powierzchnię – ale nie wejdzie na orbitę wokół niej, bo promieniowanie w pobliżu tego księżyca zabiłoby elektronikę w kilka tygodni. Bezpieczniej jest wpaść, zmierzyć i uciec.

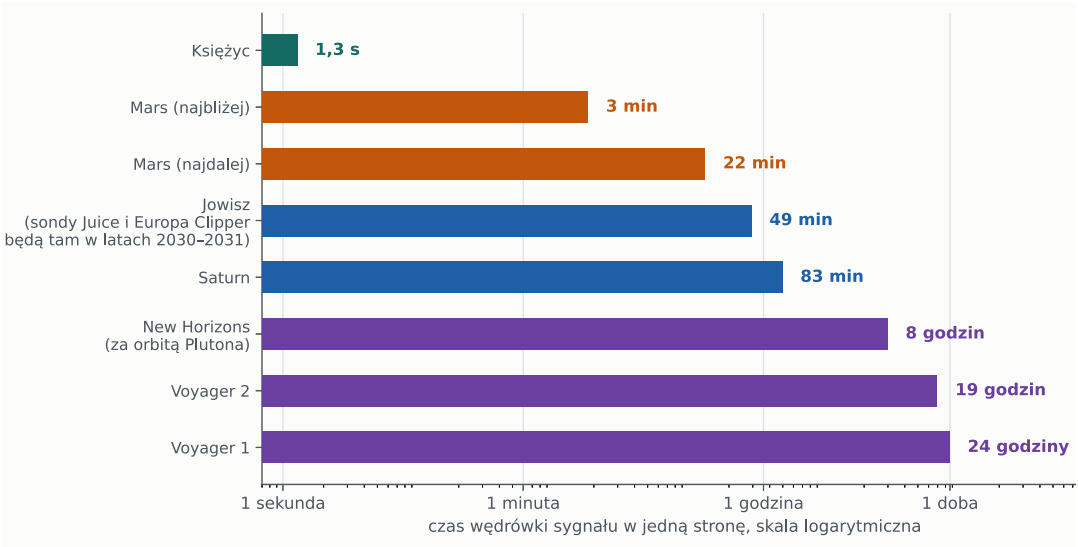
Jedna sieć anten dla trzydziestu państw

Sonda, która nie ma jak przysłać danych, jest bezużyteczna, a przysłanie ich z odległości kilkuset



Rysunek 37. Dlaczego łazikiem nie da się sterować z Ziemi na bieżąco. Wartości dotyczące autonomii pochodzą z artykułu zespołu Jet Propulsion Laboratory w czasopiśmie Science Robotics oraz z późniejszych podsumowań misji

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 38. Czas wędrówki sygnału w jedną stronę. Podziałka jest logarytmiczna – przy zwykłej Księżyc i Mars zlałyby się z zerem. Wartości dla Księżyca i planet obliczono redakcyjnie z odległości i prędkości światła; położenie sond podano według danych NASA z 2026 roku

milionów kilometrów jest samo w sobie problemem technicznym pierwszej wielkości. Zajmuje się tym Sieć Dalekiego Kosmosu – trzy zespoły anten rozstawione mniej więcej co sto dwadzieścia stopni długości geograficznej: w Kalifornii, pod Madrytem i pod Canberrą. Rozstawienie nie jest przypadkowe. Ziemia się obraca, więc zanim sonda zajdzie za horyzont jednej stacji, wschodzi już nad następną i łączność trwa bez przerwy.

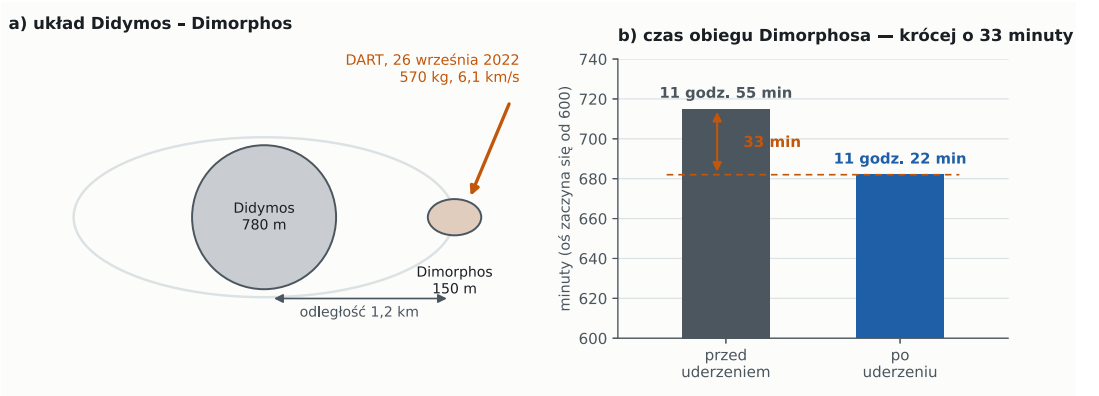
W każdym zespole stoi jedna antena o średnicy siedemdziesięciu metrów i po kilka trzydziestoczterometrowych – tych mniejszych jest w sumie czternaście. Można je łączyć w pary i trójki, żeby zsumować odbierany sygnał – przy sondach najdalszych jest to jedyny sposób, żeby cokolwiek usłyszeć. Sieć należy do NASA, ale obsługuje ponad czterdzieści misji z blisko trzydziestu państw: europejskie, japońskie, indyjskie, koreańskie. Jest to jedna z niewielu instalacji na świecie, bez których współczesna eksploracja kosmosu po prostu by się zatrzymała – i jednocześnie instalacja przeciążona. Audyt wewnętrzny NASA szacuje przekroczenie możliwości sieci na czterdzieści procent, a jej budżet na utrzymanie zmalał z 250 milionów dolarów w 2010 roku do 213 milionów w 2024. W praktyce znaczy to, że misje dostają mniej godzin łączności, niż potrzebują, i część danych nigdy nie wraca.

Wyjściem z tego zatoru ma być zamiana fal radiowych na światło. Na pokładzie sondy Psyche poleciał w 2023 roku nadajnik laserowy pracujący w bliskiej podczerwieni. Z odległości 53 milionów kilometrów przesłał dane z szybkością 267 megabitów na sekundę – szybciej niż niejedno łącze domowe – a rekord odległości ustanowił w lipcu 2024 roku, przesyłając sygnał z 460 milionów kilometrów, czyli z odległości odpowiadającej największemu oddaleniu Marsa od Ziemi.

Trzeba tu wyjaśnić jedną rzecz, bo łatwo o nieporozumienie. Sam sygnał biegnie zawsze z prędkością światła i odległość niczego w tym nie zmienia – z Marsa idzie kilkanaście minut niezależnie od tego, czy jest radiowy, czy świetlny. Maleje natomiast szybkość przesyłania danych, czyli liczba bitów, którą da się przesłać w ciągu sekundy. To dwie zupełnie różne wielkości: pierwsza mówi, jak długo wiadomość jest w drodze, druga – ile treści zmieści się w jednostce czasu.

Powód spadku tej drugiej jest prosty. Wiązka wysłana z sondy rozbiega się po drodze i im dalej leci, tym mniejsza jej część trafia w antenę odbiorczą na Ziemi. Moc docierająca do odbiornika maleje z kwadratem odległości: przy dystansie dwa razy większym jest cztery razy słabsza. Im słabszy sygnał, tym wolniej trzeba nadawać, żeby odbiornik zdążył odróżnić kolejne bity od szumu. Rekordowe 267 megabitów na sekundę uzyskano więc na dystansie stosunkowo niewielkim; przy 460 milionach kilometrów, czyli blisko dziewięć razy dalej, moc sygnału była około osiemdziesiąt

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 39. Eksperyment DART, od angielskiego Double Asteroid Redirection Test. Rozmiary ciał i odległość podano zgodnie z opisem układu w serwisie naukowym NASA; czasy obiegu za pracą opublikowaną w czasopiśmie Nature. Zwróćmy uwagę, że oś w prawym panelu zaczyna się od 600 minut – inaczej różnica byłaby niewidoczna

razy mniejsza i przepustowość spadła w podobnej proporcji.

Mimo to była wyraźnie wyższa od tego, co na tej samej odległości dałaby radiostacja o takiej samej mocy – i tu tkwi cała przewaga światła. Im krótsza fala, tym węziej da się skupić wiązkę, a podczerwień ma falę dziesiątki tysięcy razy krótszą od fal radiowych używanych w łączności kosmicznej. Wiązka laserowa rozbiega się więc znacznie słabiej i w antenę odbiorczą trafia jej nieporównanie większa część. Dla przyszłych misji załogowych, które miałyby przesyłać obraz, a nie same liczby, jest to różnica rozstrzygająca.

Uderzyć w planetoidę i sprawdzić, co z tego wyszło

Jest jedna dziedzina, w której roboty robią coś więcej niż obserwują: obrona planety przed zderzeniem z planetoidą. I jest to dziedzina, w której w ostatnich czterech latach wydarzyło się więcej niż przez poprzednie pół wieku.

26 września 2022 roku sonda DART o masie 570 kilogramów uderzyła z prędkością 6,1 kilometra na sekundę w Dimorphosa – stupięćdziesięciometrowego satelitę planetoidy Didymos. Celem nie było zniszczenie czegokolwiek, tylko sprawdzenie, czy dałoby się zmienić tor lotu ciała niebieskiego, gdyby kiedyś zmierzało ku Ziemi. Przed uderzeniem Dimorphos obiegał Didymosa w 11 godzin i 55 minut. Po uderzeniu – w 11 godzin i 22 minuty. Skrócenie o 33 minuty było wynikiem ponad dwudziestopięciokrotnie większym od tego, który uznano by za sukces: za minimum przyjęto siedemdziesiąt trzy sekundy.

Ciekawsze okazało się jednak to, czego nie przewidziano. Dimorphos nie tylko zmienił orbitę, ale i kształt: z ciała mniej więcej symetrycznego stał się wyraźnie wydłużony. Znaczy to, że nie jest litą skałą, lecz luźnym zlepkiem gruzu utrzymywanym własnym, znikomym przyciąganiem. Uderzenie w taki obiekt zachowuje się zupełnie inaczej niż uderzenie w kamień, a to z kolei znaczy, że wszystkie rachunki robione wcześniej na modelach litych trzeba przeliczyć od nowa. W listopadzie 2026 roku dolatuje tam europejska sonda Hera z dwoma satelitami wielkości walizki, Milani i Juventas. Ich zadanie jest proste do opisania i trudne do wykonania: zmierzyć, ile Dimorphos waży i jak jest zbudowany, żeby z DART zrobić eksperyment z policzalnym wynikiem, a nie jednorazowy strzał.

Jak bardzo to jest potrzebne, pokazała historia planetoidy oznaczonej 2024 YR4. Odkryta pod koniec 2024 roku, wielkości mniej więcej piętnastopiętrowego budynku, przez kilka tygodni na przełomie 2024 i 2025 roku miała niezerowe prawdopodobieństwo trafienia w Ziemię 22 grudnia 2032 roku. Kolejne obserwacje to wykluczyły – i wtedy okazało się, że z podobnym prawdopodobieństwem może trafić w Księżyc. Wartość wahała się wokół czterech procent. Rozstrzygnięcie przyniósł dopiero Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba, który obserwując planetoidę w podczerwieni, uściślił jej tor na tyle, że w marcu 2026 roku wykluczono także uderzenie w Księżyc.

Warto zauważyć, co się w tej historii wydarzyło. Teleskop zbudowany po to, żeby oglądać najdalsze galaktyki – sześć i pół metra zwierciadła, osłona przeciwsłoneczna wielkości kortu tenisowego, punkt Lagrange'a półtora

eprasa.pl 360946405d

Sto dwadzieścia siedem gramów

Obserwować z daleka to jedno, a mieć próbkę w ręku to drugie. Materiał przywieziony z planetoidy można badać przez dziesięciolecia przyrządami, których na sondzie nigdy by się nie zmieściło.

Wszystko, co dotąd przywieziono z planetoid, waży razem około 127 gramów. Japońska sonda Hayabusa dostarczyła w 2010 roku z Itokawy półtora miligrama pyłu – dosłownie kilkaset ziarenek. Hayabusa2 przywiozła w 2020 roku 5,4 grama z Ryugu. Amerykańska OSIRIS-REx w 2023 roku – 121,6 grama z Bennu, ponad dwa razy więcej, niż zakładano. Trzy misje, ponad miliard dolarów, masa mniejsza niż małe jabłko.

I warto było. To właśnie w próbkach z Ryugu i Bennu znaleziono aminokwasy i inne związki organiczne, czyli dowód, że cegiełki, z których zbudowane jest życie, powstają w kosmosie same i trafiają na planety razem z materiałem, który w nie uderza.

Teraz swoją próbkę bierze chińska sonda Tianwen-2, która w lipcu 2026 roku dotarła do planetoidy Kamo'oalewa – ciała o średnicy od czterdziestu do stu metrów, krążącego wokół Słońca niemal równo z Ziemią. Część badaczy podejrzewa, że jest to odłamek Księżyca wybity uderzeniem meteorytu. Próbki mają wrócić na Ziemię pod koniec listopada 2027 roku, a sonda poleci potem dalej, do komety.

miliona kilometrów za Ziemią – posłużył do zmierzenia toru kamienia wielkości kamienicy. Tak właśnie wygląda ta dziedzina: narzędzia buduje się do jednego, a ratują one sytuację w czymś zupełnie innym.

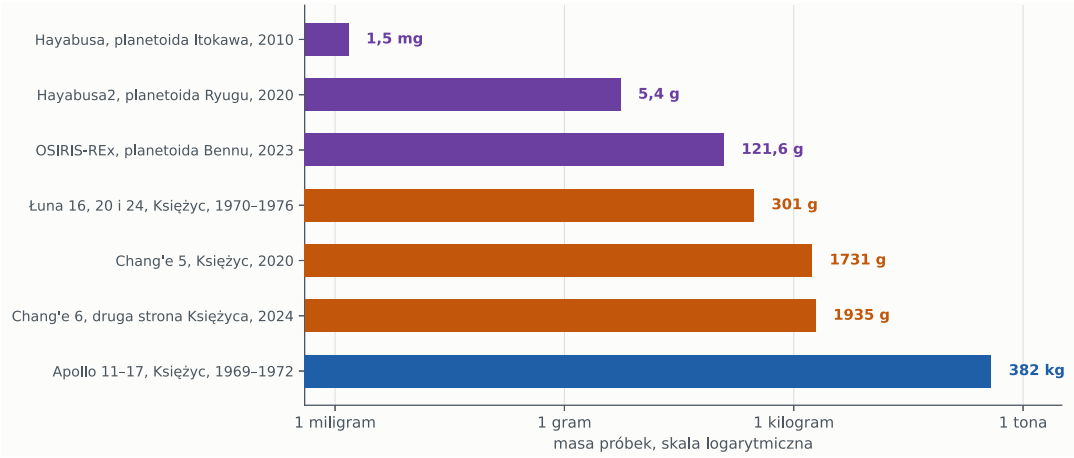
Voyager, doba świetlna

Na koniec wypada wrócić do dwóch maszyn, które wystartowały w 1977 roku, kiedy nie było jeszcze komputerów osobistych, i pracują do dziś.

Voyager 1 jest dziś ponad 25 miliardów kilometrów od Ziemi. Jego generator izotopowy traci cztery waty mocy rocznie, więc kolejne przyrządy trzeba wyłączać. W kwietniu 2026 roku wyłączono detektor cząstek naładowanych, pracujący nieprzerwanie od startu; zostały dwa przyrządy – magnetometr i odbiornik fal plazmowych. Sygnał z sondy dociera do Ziemi po ponad dwudziestu trzech godzinach, a jego moc po drodze maleje do wartości, przy których anteny o średnicy siedemdziesięciu metrów są koniecznością, a nie luksusem.

18 listopada 2026 roku, o 11:16 czasu polskiego, Voyager 1 znajdzie się 25 miliardów 902 miliony kilometrów od Ziemi. Jest to dokładnie tyle, ile światło przebywa w ciągu doby. Żaden przedmiot zbudowany przez człowieka nie był dotąd tak daleko, a sonda, która to osiągnie, ma na pokładzie komputer o pamięci mniejszej niż pojedyncze zdjęcie z telefonu i zasilanie słabsze niż żarówka w lodówce.

Voyagerom starczy prądu jeszcze na kilka lat pracy przyrządów, a łączność da się utrzymać być może do około 2036 roku. Potem obie sondy polecą dalej w milczeniu, i będą lecieć dłużej, niż istnieje gatunek ludzki. Jest w tym coś, co warto powiedzieć młodszemu czytelnikowi wprost: te maszyny zbudowali ludzie, którzy wiedzieli, że nie doczekają końca ich podróży, i zbudowali je mimo to. ■



Rysunek 40. Co udało się dotąd przywieźć na Ziemię. Skala logarytmiczna. Masy próbek księżycowych za NASA i Chińską Narodową Agencją Kosmiczną, planetoidalne za NASA i JAXA

eprasa.pl 360946405d



Ciemna strona orbity

Do tej pory opisywaliśmy kosmos, do którego się leci i z którego się coś przywozi. Teraz trzeba powiedzieć o drugiej stronie tej samej sprawy: o tym, że przestrzeń wokół Ziemi jest zasobem ograniczonym, że zużywa się szybciej, niż się odnawia, i że nikt nie ma nad tym pełnej władzy.

We wrześniu 2026 roku Europejska Agencja Kosmiczna ogłosiła kolejne doroczne sprawozdanie o stanie środowiska orbitalnego. Wnioski są w nim sformułowane ostrożnie, ale nie da się ich opacznie zrozumieć: liczba obiektów i liczba spodziewanych zderzeń na niskiej orbicie rosną w tempie wykładniczym, a okres, w którym te skutki mają się ujawnić, skrócił się w ciągu roku z dwustu lat do stu.

Czterdzieści siedem tysięcy śledzonych i dwieście trzydzieści milionów pozostałych

Zacznijmy od inwentarza. Sieci obserwacyjne mają dziś w katalogu około czterdziestu siedmiu tysięcy obiektów okrążających Ziemię. Każdy z nich ma numer, wyznaczoną orbitę i jest śledzony na tyle dokładnie, że da się go omijać. Kłopot polega na tym, że to jest mniejszość.

Model używany przez Europejską Agencję Kosmiczną szacuje, że obiektów większych niż dziesięć centymetrów jest około sześćdziesięciu ośmiu tysięcy, odłamków o wielkości od jednego do dziesięciu centymetrów – półtora miliona, a drobin od milimetra do centymetra – dwieście trzydzieści milionów. Te ostatnie dwie grupy są niewidoczne dla radarów i teleskopów. Nie da się ich omijać, bo nie wiadomo, gdzie są.

Nasuwa się pytanie, czy drobina wielkości ziarnka grochu może w ogóle komuś zaszkodzić. Odpowiedź brzmi: tak, i to poważnie, a powodem jest prędkość.

Obiekty na niskiej orbicie poruszają się z prędkością blisko ośmiu kilometrów na sekundę,

eprasa.pl 360946405d



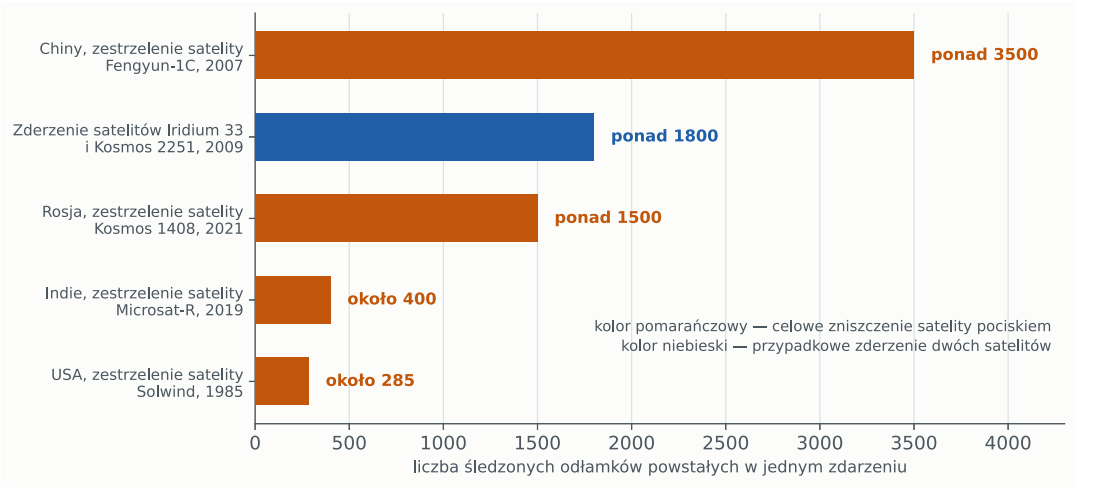
Rysunek 41. Szacowana populacja obiektów na orbicie okołoziemskiej, za modelem MASTER Europejskiej Agencji Kosmicznej, stan na połowę 2026 roku. Liczby dla najmniejszych odłamków są wynikiem obliczeń modelowych, a nie bezpośredniego zliczania

a zderzają się z sobą przy prędkościach względnych rzędu dziesięciu, a bywa, że i czternastu kilometrów na sekundę. Przy takich prędkościach energia kinetyczna jest wszystkim. Aluminiowa śruba o średnicy jednego centymetra waży półtora grama, ale niesie energię siedemdziesięciu jeden tysięcy dżuli – tyle, co samochód osobowy jadący czterdzieści kilometrów na godzinę.



Rysunek 42. Energia kinetyczna odłamków aluminium przy prędkości 10 kilometrów na sekundę. Masy i energie obliczono redakcyjnie z gęstości aluminium i wzoru na energię kinetyczną; porównania z pojazdami również pochodzą z obliczeń redakcyjnych

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 43. Największe pojedyncze źródła śledzonych odłamków. Liczby dotyczą fragmentów na tyle dużych, że trafiły do katalogu; drobnych jest przy każdym z tych zdarzeń wielokrotnie więcej

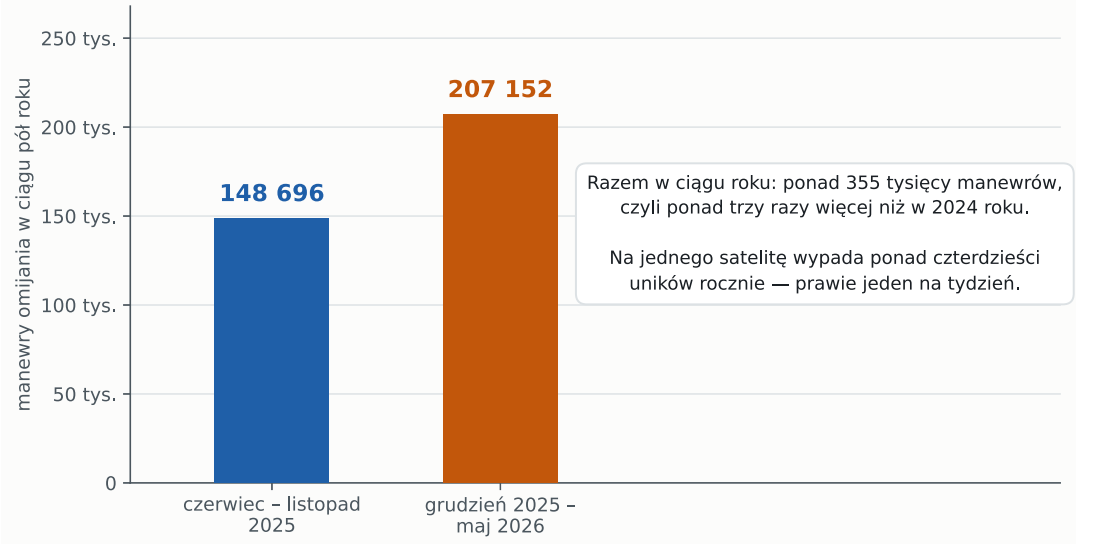
Odłamek dziesięciocentymetrowy to już energia czterdziestotonowej ciężarówki pędzącej ponad dwieście kilometrów na godzinę. Żadna osłona, jaką da się wynieść na orbitę, tego nie zatrzyma.

Stąd bierze się konstrukcja osłon przeciwmeteorytowych, którymi obudowane są moduły stacji kosmicznej. Nie są to pancerze – są to warstwy rozstawione w pewnej odległości od siebie. Pierwsza nie zatrzymuje odłamka, tylko go rozbija i rozprasza, a kolejne przejmują chmurę drobnych cząstek. Działa to do mniej więcej centymetra. Powyżej nie działa nic i pozostaje tylko zejść z drogi.

Skąd się bierze gruz

Odłamki nie biorą się znikąd. Większość powstała w kilkudziesięciu konkretnych zdarzeniach, a kilka z nich zaważyło na całej reszcie.

10 lutego 2009 roku nad Syberią, na wysokości siedmiuset dziewięćdziesięciu kilometrów, zderzyły się dwa satelity: czynny amerykański Iridium 33 i wyłączony rosyjski Kosmos 2251. Trafiły w siebie pod kątem bliskim prostemu, z prędkością względną blisko dwunastu kilometrów na sekundę. Było to pierwsze w historii przypadkowe zderzenie dwóch całych satelitów.



Rysunek 44. Liczba manewrów omijania wykonanych przez satelity jednej konstelacji internetowej w dwóch kolejnych półroczach, za sprawozdaniami operatora składanymi amerykańskiemu regulatorowi łączności

eprasa.pl 360946405d

Zespół Kesslera

W 1978 roku dwaj pracownicy NASA, Donald Kessler i Burton Cour-Palais, opublikowali pracę o częstości zderzeń sztucznych satelitów. Wykazali w niej, że jeśli gęstość obiektów na orbicie przekroczy pewną wartość, proces stanie się samopodtrzymujący: każde zderzenie wytworzy odłamki, które spowodują kolejne zderzenia, te następne odłamki, i tak dalej.

Nazwano to później zespołem Kesslera. Nie jest to katastrofa, która wydarza się w jednej chwili – to raczej powolne zaduszenie: przez dziesięciolecia pewne wysokości stają się po prostu zbyt niebezpieczne, żeby cokolwiek tam umieszczać. A ponieważ najgęściej zajęty jest pas między pięciuset a tysiącem kilometrów, chodziłoby o orbity, na których pracują satelity obserwacji Ziemi, meteorologiczne i internetowe.

Czy proces już się zaczął, nie wiadomo i naukowcy nie są co do tego zgodni. Zgadzają się natomiast, że sam mechanizm jest poprawnie opisany, a obliczenia Europejskiej Agencji Kosmicznej pokazują, że przy zachowaniu obecnego tempa poziom ryzyka na niskiej orbicie będzie za sto lat pięćdziesiąt razy wyższy od tego, który uznaje się za dopuszczalny.

Powstało z niego ponad dwa tysiące dwieście śledzonych odłamków, które będą krążyć jeszcze dziesiątki lat.

Gorsze od przypadków są jednak rzeczy robione umyślnie. W styczniu 2007 roku Chiny zestrzeliły pociskiem własnego, zużytego satelitę meteorologicznego Fengyun-1C. Zrobiły to na wysokości ośmiuset sześćdziesięciu kilometrów, czyli tam, gdzie opór atmosfery jest już znikomy i gdzie odłamki utrzymują się przez dziesięciolecia, a częściowo przez stulecia. Jedno zdarzenie dołożyło do katalogu blisko trzy i pół tysiąca fragmentów – więcej niż jakiekolwiek inne w historii lotów kosmicznych. W listopadzie 2021 roku Rosja zestrzeliła satelitę Kosmos 1408 na wysokości czterystu osiemdziesięciu kilometrów; załoga stacji kosmicznej musiała wtedy schronić się w statkach ratunkowych, bo chmura odłamków przechodziła przez jej orbitę.

Cztery państwa przeprowadziły takie próby: Stany Zjednoczone, Chiny, Indie i Rosja. Od 2022 roku ponad trzydzieści krajów zobowiązało się dobrowolnie ich nie powtarzać. Chiny i Rosja do tego zobowiązania nie przystąpiły.

Ruch drogowy bez drogówki

Druga zmiana nie ma nic wspólnego z odłamkami i wynika po prostu z liczby satelitów. W 2020 roku na orbicie było ich około trzech i pół tysiąca. Dziś jest ich blisko szesnaście tysięcy, z czego zdecydowana większość należy do jednej firmy i do jednej konstelacji internetowej.

Skutek widać w sprawozdaniach, które operator konstelacji musi składać amerykańskiemu urzędowi łączności. Od czerwca do listopada 2025 roku jego satelity wykonały 148 696 manewrów omijania. Od grudnia 2025 do maja 2026 – 207 152. Razem ponad trzysta pięćdziesiąt pięć tysięcy w ciągu roku, czyli ponad trzy razy więcej niż dwa lata wcześniej. Na jednego pracującego satelitę wypada ponad trzydzieści pięć uników rocznie – mniej więcej jeden na dziesięć dni.

Manewry te są wykonywane automatycznie i w ogromnej większości niepotrzebnie, bo prognoza zbliżenia jest obarczona sporą niepewnością – opór atmosfery zależy od aktywności Słońca i nie da się go przewidzieć dokładnie. Rzecz w tym, że przy takich liczbach nawet bardzo mała resztkowa szansa nieudanego uniku, pomnożona przez setki tysięcy prób, przestaje być mała. Badacze zajmujący się bezpieczeństwem orbitalnym mówią o tym otwarcie: pytaniem nie jest, czy dojdzie do zderzenia z udziałem czynnego satelity dużej konstelacji, tylko kiedy.

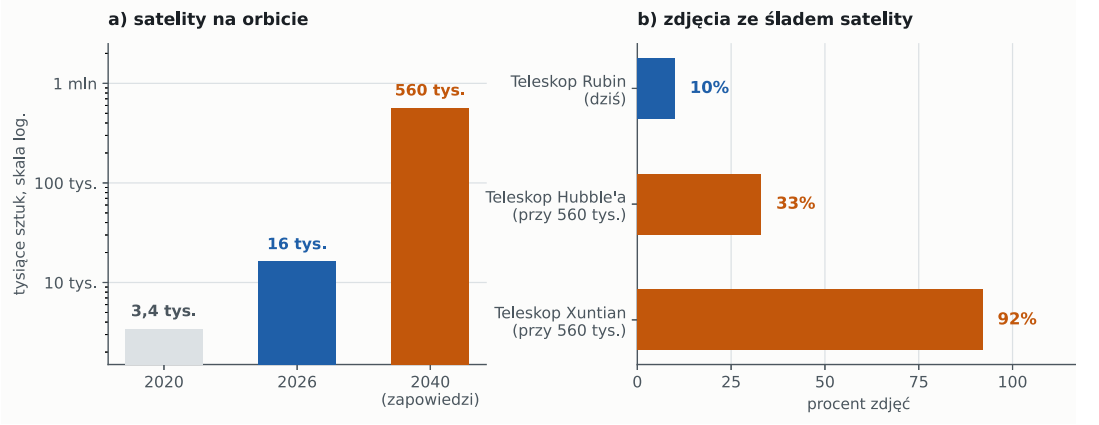
Warto przy tym zauważyć, czego tu nie ma. Nie ma żadnego międzynarodowego urzędu, który wyznaczałby korytarze orbitalne albo rozstrzygał, kto komu ma ustąpić. Operatorzy uzgadniają to między sobą, korzystając z danych amerykańskiego wojska. Jest to system, który działał, dopóki satelitów było kilka tysięcy.

Niebo, którego nie widać

Jest jeszcze jedna szkoda, o której rzadziej się mówi, bo nie grozi nikomu utratą sprzętu. Satelity są widoczne. Odbijają światło Słońca i przechodząc przez pole widzenia teleskopu, zostawiają na zdjęciu jasną kreskę.

Dla obserwatorium imienia Very Rubin w Chile, które od połowy 2026 roku fotografuje całe dostępne niebo co kilka nocy, oznacza to, że już dziś ślad satelity znajduje się na mniej więcej co dziesiątym zdjęciu, a w godzinach po zmierzchu i przed świtem – na większości. Program przetwarzania danych potrafi takie ślady wykryć i zamaskować, ale to, co pod kreską, jest bezpowrotnie

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 45. Po lewej liczba satelitów na orbicie – dla 2040 roku jest to suma zapowiedzi i wniosków złożonych przez operatorów, a nie prognoza. Po prawej odsetek zdjęć, na których spodziewany jest ślad satelity, według pracy opublikowanej w czasopiśmie Nature oraz materiałów obserwatorium Rubin

stracone. Najbardziej dotyka to poszukiwania planetoid zbliżających się do Ziemi od strony Słońca, bo te widać wyłącznie tuż po zachodzie albo tuż przed wschodem – czyli dokładnie wtedy, gdy satelity są najjaśniejsze.

Międzynarodowa Unia Astronomiczna zaleca, żeby satelity krążące niżej niż pięćset pięćdziesiąt kilometrów nie były jaśniejsze od siódmej wielkości gwiazdowej, czyli żeby pozostawały poza zasięgiem nieuzbrojonego oka. Większość konstelacji komercyjnych tego zalecenia nie spełnia. Zalecenie nie jest zresztą przepisem – nikt nie ma prawa go egzekwować.

Do niedawna sądzono, że teleskopów kosmicznych problem nie dotyczy. Praca ogłoszona w 2025 roku w czasopiśmie Nature pokazała, że dotyczy. Gdyby powstały wszystkie zapowiedziane konstelacje – a wnioski złożone u regulatorów opiewają łącznie na ponad pół miliona satelitów do 2040 roku – ślad satelity byłby na co trzecim zdjęciu z teleskopu Hubble'a i na przeszło dziewięćdziesięciu procentach zdjęć z niektórych nowszych teleskopów. Trzeba tu zachować proporcje: to są liczby z wniosków, a nie z fabryk, i historia pokazuje, że większość takich zapowiedzi nigdy się nie ziszcza. Ale nawet ułamek tej liczby wystarczy, żeby zmienić warunki pracy astronomii.

Co się z tym robi

Byłoby nieprawdą napisać, że nikt nic nie robi. Od 2023 roku Europejska Agencja Kosmiczna prowadzi Kartę Zerowych Śmieci, czyli dobrowolne zobowiązanie do tego, żeby od 2030 roku nie zostawiać po sobie niczego na orbicie. Do początku 2026 roku podpisało ją ponad dwieście pięćdziesiąt podmiotów z trzydziestu pięciu krajów, w tym ponad dwadzieścia rządów. Skrócono też dopuszczalny czas pozostawania satelity na orbicie po zakończeniu pracy – z dwudziestu pięciu lat do pięciu. Problem w tym, że i ze starą normą, i z nową jest kiepsko: sprawozdanie Agencji pokazuje, że wymogu pięcioletniego dotrzymuje od kilku do pięćdziesięciu procent masy wynoszonej na orbitę, zależnie od kategorii.

Zaczęło się też coś, czego jeszcze dekadę temu nie było: usuwanie gruzu. W lutym 2024 roku japońska sonda ADRAS-J zbliżyła się do porzuconego członu rakiety, obleciała go dookoła i sfotografowała, a 30 listopada podeszła na piętnaście metrów. Niczego nie chwytała – chodziło o sprawdzenie, czy w ogóle da się podejść do obiektu, który koziołkuje i z nikim nie współpracuje. Da się. Następna misja ma już spróbować chwycić i ściągnąć.

Trzeba jednak powiedzieć rzecz niewygodną. Usuwanie gruzu jest drogie, trudne i na razie liczone w sztukach rocznie, a przybywa go w tysiącach. Wszystko, co dotąd opisano w tym rozdziale, jest skutkiem decyzji, które firmy i państwa podejmowały osobno – i z których każda z osobna była rozsądna. To jest klasyczny przypadek tego, co ekonomiści nazywają tragedią wspólnego pastwiska: zasób jest wspólny, koszty jego zużycia ponoszą wszyscy, a korzyści – ten, kto akurat zdążył. Orbita okołoziemska jest wspólna dokładnie tak samo, jak wspólny jest kosmos w tytule tego numeru. Z tą różnicą, że tej akurat części da się nie zepsuć tylko wspólnie, a do tego potrzebne byłyby przepisy, których na razie nie ma. ■

eprasa.pl 360946405d



Mapa świata

Tytuł tego tematu numeru mówi, że kosmos jest rzeczą wspólną wszystkich narodów. Wypada w takim razie pokazać, jak ta wspólnota wygląda w liczbach – bo wygląda zupełnie inaczej, niż wyglądała w 1957 roku, i zupełnie inaczej, niż mogłoby się wydawać z nagłówków.

Trzy progi

Najprościej jest to ująć jako trzy kolejne progi, coraz wyższe.

Pierwszy próg to własny satelita. Przekroczyło go dziś sto dziewięć państw – tyle podaje sprawozdanie OECD z września 2026 roku – i jest to liczba, która od początku stulecia się podwoiła. Podana w pierwszej części tego numeru liczba sto dwa nie jest z nią sprzeczna: pochodzi z rejestru Organizacji Narodów Zjednoczonych i opisuje stan na koniec 2025 roku, a więc inne źródło i wcześniejszą datę. Próg jest niski, i o to chodzi: satelitę można zamówić w europejskiej albo amerykańskiej firmie, wysłać na szkolenie dwóch własnych inżynierów i wynieść ładunek cudzą rakietą za kilka milionów dolarów. Dla państwa wielkości Rwandy albo Litwy jest to wydatek porównywalny z budową odcinka drogi.

Drugi próg to własna rakieta i on jest już znacznie wyżej. Przekroczyło go w całej historii jedenaście państw, a i to wymaga zastrzeżenia: Wielka Brytania wyniosła satelitę w 1971 roku i natychmiast program zamknęła, a Francja swoje rakiety wniosła do wspólnego europejskiego przedsięwzięcia. Kto dziś naprawdę potrafi to zrobić samodzielnie, to Rosja, Stany Zjednoczone, Chiny, Indie, Japonia, Iran, Izrael i oba państwa koreańskie – plus Europa, ale wspólnie, przez Europejską Agencję Kosmiczną i rakiety startujące z Gujany Francuskiej.

Trzeci próg to wysłanie człowieka i tu lista jest krótka od sześćdziesięciu pięciu lat: Rosja, Stany Zjednoczone, Chiny. Indie zapowiadają lot załogowy na początek 2027 roku i byłyby czwarte. Ich program Gaganyaan przewiduje trzyosobową załogę i trzydniowy lot na orbicie okołoziemskiej na wysokości czterystu kilometrów, a przed nim trzy loty próbne bez ludzi, z których pierwszy ma zabrać robota o imieniu Vyommitra. Cztery osoby wybrane do programu to piloci doświadczalni indyjskiego lotnictwa wojskowego.

eprasa.pl 360946405d

Kto startuje i kto za to płaci

Progi mówią o tym, kto może. O tym, kto rzeczywiście to robi, mówią dwie inne liczby.

W 2025 roku odbyło się na świecie ponad trzysta dwadzieścia startów orbitalnych – najwięcej w historii. Z tego blisko dwieście przypadło na Stany Zjednoczone, dziewięćdziesiąt dwa na Chiny, siedemnaście na Rosję, osiem na Europę. Reszta świata razem wzięta – kilkanaście. Warto przy tym zauważyć, że amerykańskie blisko dwieście to w ogromnej większości jedna firma i jedna rodzina rakiet, wynosząca własną konstelację internetową. Gdyby ją odjąć, obraz byłby znacznie bardziej wyrównany.

Podobnie wygląda podział pieniędzy publicznych. W 2024 roku rządy świata wydały na kosmos około stu trzydziestu dwóch miliardów dolarów, z czego niecałe osiemdziesiąt miliardów przypadło na Stany Zjednoczone, a około dwudziestu na Chiny. Na całą resztę świata – Europę, Japonię, Indie, Rosję, Koreę Południową i wszystkich pozostałych – zostały trzydzieści dwa miliardy – półtora raza tyle, ile wydają same Chiny, i mniej niż połowa tego, co Amerykanie.

Jest jednak druga strona tego rachunku, i to ona zmieniła się najbardziej. Cała gospodarka kosmiczna – a więc nie tylko budżety rządowe, ale i to, co ludzie płacą za nawigację, łączność satelitarną, zdjęcia Ziemi i usługi startowe – była w 2025 roku warta sześćset osiemdziesiąt sześć miliardów dolarów i rosła o dwanaście procent rocznie. Z tego blisko cztery piąte to działalność komercyjna, a nie państwowa. Największa jej część, około czterdziestu procent, to usługi związane z wyznaczaniem położenia i czasu, czyli z tym, co opisano w części o infrastrukturze orbitalnej. Innymi słowy: pieniądze w kosmosie są dziś przede wszystkim po stronie tego, co się z orbity sprzedaje na Ziemi.

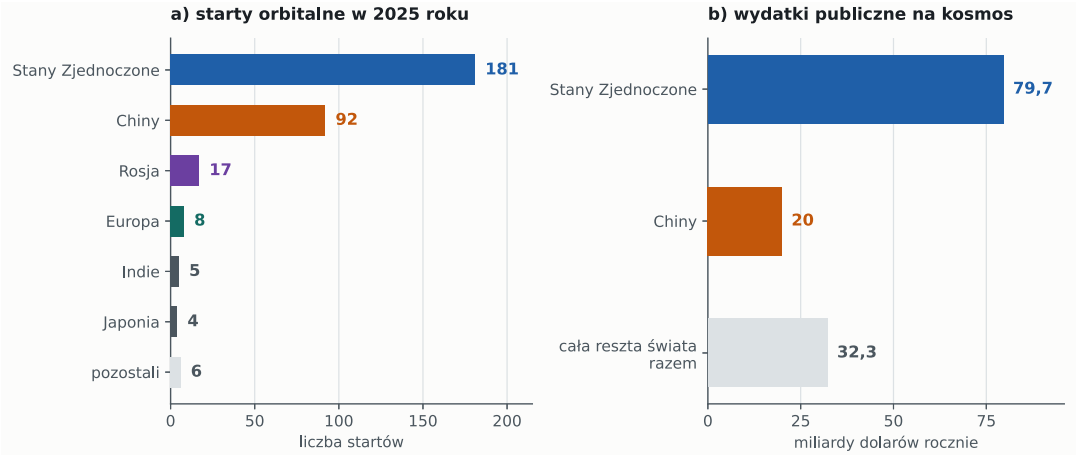
Kontynent, który właśnie wchodzi

Gdyby szukać miejsca, w którym zmiany widać najwyraźniej, byłaby to Afryka. Jeszcze piętnaście lat temu satelity miało kilka państw, dziś ma je kilkanaście, a kolejne kilkanaście buduje programy. W 2025 roku zaczęła działać Afrykańska Agencja Kosmiczna z siedzibą w Kairze, obejmująca automatycznie wszystkie pięćdziesiąt pięć państw Unii Afrykańskiej. Nie jest to agencja, która w dającej się przewidzieć przyszłości wyniesie cokolwiek własną rakietą – jej zadaniem jest coś bardziej prozaicznego i chyba rozsądniejszego: uporządkować to, co już jest, żeby sąsiadujące ze sobą państwa nie budowały



Rysunek 46. Trzy progi udziału w lotach kosmicznych. Liczba państw z własnym satelitą za sprawozdaniem OECD „The Space Economy at a Glance 2026", ogłoszonym we wrześniu 2026 roku; daty pierwszych startów za katalogami misji

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 47. Po lewej starty orbitalne w 2025 roku według zestawień branżowych; różne źródła podają wartości różniące się o kilkanaście startów, zależnie od tego, jak przypisują loty firm działających poza krajem macierzystym. Po prawej wydatki publiczne za 2024 rok, ostatni w pełni podsumowany

po raz piąty tego samego satelity do obserwacji rolnictwa.

Powód, dla którego tak wiele państw wchodzi akurat teraz, jest zresztą całkiem przyziemny. Satelita obserwacyjny wielkości walizki, który dwadzieścia lat temu byłby zabawką, dziś robi zdjęcia dość dobre, żeby liczyć na nich pola uprawne, śledzić wylesianie i mierzyć zasięg powodzi. Dla kraju, w którym połowa ludzi żyje z rolnictwa, jest to narzędzie gospodarcze, a nie prestiżowe.

Dwa obozy

Trzeba na koniec powiedzieć rzecz, która tej wspólnocie przeczy. Powrót na Księżyc, opisany w części o Księżycu i Marsie, organizuje się w dwóch osobnych układach. Wokół programu amerykańskiego skupiły się państwa, które podpisały Porozumienia Artemis – we wrześniu 2026 roku było ich siedemdziesiąt dwa, w tym Polska, trzynasta w kolejności, od października 2021 roku. Wokół programu chińsko-rosyjskiego skupia się osiem państw założycieli stacji ILRS, od angielskiego International Lunar Research Station, wśród nich Pakistan, Egipt, Białoruś i Republika Południowej Afryki.

Jest w tym coś znajomego i coś nowego jednocześnie. Znajomy jest podział na dwa obozy – tak samo wyglądało to w 1957 roku. Nowe jest to, że obozy te liczą dziś osiemdziesiąt państw zamiast dwóch, że większość z nich nie ma własnej rakiety i wnosi do wspólnego przedsięwzięcia przyrządy, dane albo pieniądze, oraz że poza tymi dwoma układami działa jeszcze sto kilkadziesiąt firm, których rakiety i satelity nie pytają o przynależność. Kosmos nie stał się wspólny w tym sensie, że przestały w nim istnieć rywalizacje. Stał się wspólny w tym sensie, że nie da się już w nim zrobić nic poważnego w pojedynkę. ■

REKLAMA

Elektronika dla Wszystkich 10/2026

- Zegar „analogowy” z diodami LED RGB
- Zabezpieczenia zasilania DC
- Generator funkcyjny DDS z Wi-Fi, część 2
- Nauka elektroniki z modułem ESP32, część 3. Wejścia i wyjścia analogowe
- Junior: Dwudzieste ósme spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki
- i inne



www.UlubionyKiosk.pl

epr...



Polska

W listopadzie 2014 roku lądownik Philae osiadł na jądrze komety 67P/Czuriumow-Gierasimienko, pół miliarda kilometrów od Ziemi. Na jego pokładzie był młotek. Nie w przenośni: prawdziwy młotek z mechanizmem udarowym, który miał wbić w powierzchnię komety sondę termiczną i zmierzyć, jak ciepło rozchodzi się w kometarnym lodzie. Przyrząd nazywał się MUPUS, ważył półtora kilograma, dostał dwa waty mocy i został zbudowany w Warszawie.

Młotek uderzał przez siedem minut, przechodząc kolejno przez trzy przewidziane poziomy mocy, a na końcu przez czwarty, który w dokumentacji figurował jako tryb desperacki i groził uszkodzeniem urządzenia. Nie wbił się. Kometa, która miała być luźnym zlepkiem lodu i pyłu, okazała się twarda jak zmarznięty beton – i był to jeden z najważniejszych wyników całej misji. Kierujący budową przyrządu doktor Jerzy Grygorczuk podsumował to zdaniem, które warto zapamiętać: MUPUS zadziałał dokładnie tak, jak był zaprojektowany. To kometa nie chciała współpracować.

Ta historia dobrze opisuje polski udział w lotach kosmicznych. Nie budujemy rakiet ani statków załogowych. Budujemy przyrządy – najczęściej małe, mechaniczne, wymagające precyzji, i najczęściej takie, których nikt wcześniej nie robił.

Gdzie byliśmy

Lista jest dłuższa, niż większość ludzi przypuszcza, i zaczyna się wcześniej, niż się wydaje.

eprasa.pl 360946405d

Zaczęło się w latach siedemdziesiątych, jeszcze w ramach programu Interkosmos. Polska aparatura poleciała potem na radzieckich sondach Wega – nazwa pochodzi od tej samej gwiazdy co europejska rakieta Vega, ale to zupełnie inny program – które w 1985 roku minęły Wenus, a rok później przeleciały obok komety Halleya. Po wstąpieniu do Europejskiej Agencji Kosmicznej w 2012 roku zaproszeń przybyło. Spektrometr na sondzie Mars Express. Teleskop rentgenowski STIX, obserwujący Słońce z pokładu Solar Orbitera. Spektrometr MERTIS lecący na Merkurego sondą BepiColombo – ta wejdzie na orbitę planety 21 listopada tego roku. Wreszcie anteny przyrządu badającego fale radiowe i plazmę na pokładzie sondy Juice, zmierzającej do Jowisza.

Osobno trzeba wspomnieć o Marsie. W 2018 roku wylądował tam amerykański próbnik InSight, a na jego pokładzie urządzenie oficjalnie nazywane HP3, a nieoficjalnie Kretem: samowbijający się penetrator, który miał zejść pięć metrów pod powierzchnię i zmierzyć strumień ciepła płynący z wnętrza planety. Zbudowała go warszawska firma Astronika wspólnie z Centrum Badań Kosmicznych. Kret zszedł na kilkadziesiąt centymetrów i utknął – marsjański grunt okazał się inny, niż zakładano, zbyt sypki, żeby dać oparcie, i zbyt zbity, żeby przepuścić. Przez dwa lata próbowano różnych sposobów, łącznie z dociskaniem penetratora łopatą łazika. Nie udało się. Warto o tym napisać wprost, bo w opowieściach o kosmosie zbyt często pojawiają się same sukcesy – a w rzeczywistości na każde udane urządzenie przypada kilka, które zachowały się inaczej, niż przewidywał model.

Dwóch Polaków

27 czerwca 1978 roku o 17.27 czasu polskiego z Bajkonuru wystartował statek Sojuz 30 z dwuosobową załogą: dowódcą był Piotr Klimuk, a obok niego siedział major Mirosław Hermaszewski. Polska stała się czwartym krajem, którego obywatel znalazł się w kosmosie – po Związku Radzieckim, Stanach Zjednoczonych i Czechosłowacji. Lot trwał osiem dni, statek zacumował do stacji Salut 6, a Hermaszewski

Gdzie dotarły polskie przyrządy

cel	misja	polski wkład	rok
Orbita okołoziemska	**BRITE-PL Lem i Heweliusz**	pierwsze polskie satelity naukowe	2013–2014
Orbita okołoziemska	**EagleEye, PIAST**	satelity obserwacyjne polskiej budowy	2024–2025
Stacja kosmiczna	**ASIM**	detektor rozbłysków gamma	2018
Wenus i kometa Halleya	**Wega 1 i 2**	aparatura pomiarowa	1984–1986
Mars	**Mars Express**	spektrometr PFS	od 2003
Mars	**InSight**	penetrator HP3, zwany Kretem	2018
Tytan, księżyc Saturna	**Huygens**	podzespoły lądownika	2005
Kometa 67P	**Rosetta / Philae**	penetrator MUPUS	2014
Merkury	**BepiColombo**	spektrometr MERTIS	dolatuje w 2026
Słońce	**Solar Orbiter**	teleskop rentgenowski STIX	od 2020
Jowisz	**Juice**	anteny przyrządu RPWI	dolatuje w 2031
Granica heliosfery	**IBEX**	detektor IBEX-Lo	od 2008
Kometa nieodkryta	**Comet Interceptor**	kierownictwo przyrządu DFP	start w 2029

Wybór najważniejszych pozycji; pełna lista jest dłuższa. Kolor paska po lewej oznacza rodzaj celu: orbita okołoziemska, planeta, małe ciało Układu Słonecznego, misja jeszcze nieuruchomiona.

Rysunek 48. Wybrane misje kosmiczne z polskim udziałem. Wykaz za Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk i doniesieniami branżowymi; nie obejmuje wszystkich pozycji

eprasa.pl 360946405d

wykonał na niej sto dwadzieścia sześć okrążeń Ziemi, prowadząc badania fizjologiczne i obserwacje zorzy polarnej. Wylądował 5 lipca pod Arkałykiem w Kazachstanie.

Na następnego Polaka trzeba było czekać czterdzieści siedem lat. 25 czerwca 2025 roku Sławosz Uznański-Wiśniewski poleciał na Międzynarodową Stację Kosmiczną w ramach misji Ignis i spędził tam dwadzieścia dni, wykonując trzynaście polskich eksperymentów spośród ponad dwudziestu przewidzianych w programie. Różnica między tymi dwoma lotami jest większa, niż sugeruje odstęp czasowy. Hermaszewski poleciał jako gość programu, w którym Polska nie miała nic do powiedzenia poza zgodą. Uznański-Wiśniewski poleciał jako rezerwowy astronauta Europejskiej Agencji Kosmicznej, w ramach misji opłaconej przez Polskę – sześćdziesiąt pięć milionów euro – i z polskim programem badawczym przygotowanym przez polskie zespoły.

Dla polskiego sektora kosmicznego ta misja była czymś więcej niż wydarzeniem medialnym. Po raz pierwszy polskie zespoły badawcze musiały przejść pełną ścieżkę przygotowania eksperymentu do lotu załogowego: kwalifikację sprzętu, procedury bezpieczeństwa, szkolenie astronauty, obsługę w trakcie misji. Ta wiedza zostaje w kraju niezależnie od tego, kiedy poleci następny Polak.

Ile to wszystko kosztuje i co z tego wynika

Polska jest członkiem Europejskiej Agencji Kosmicznej od listopada 2012 roku. Przez trzynaście lat członkostwa polskie podmioty wzięły udział w blisko siedmiuset projektach o łącznej wartości przekraczającej trzysta dwadzieścia milionów euro. Trzeba przy tym wiedzieć, że większość tej sumy pochodzi z lat ostatnich, bo składka długo była symboliczna, a w ciągu trzech ostatnich lat wzrosła dziesięciokrotnie. W 2025 roku wyniosła sto dziewięćdziesiąt trzy miliony euro, z czego blisko sto sześćdziesiąt przypadło na programy nieobowiązkowe, czyli te, z których wracają zamówienia dla firm.

Na Radzie Ministerialnej Agencji w listopadzie 2025 roku Polska zadeklarowała na lata 2026–2028 siedemset trzydzieści jeden milionów euro, wobec czterystu dziewięćdziesięciu sześciu poprzednio, w tym pięćset pięćdziesiąt milionów na programy nieobowiązkowe. Jest to wzrost o połowę i awans na ósme miejsce wśród państw członkowskich. Mechanizm jest prosty i warto go rozumieć: Agencja wydaje w danym kraju mniej więcej tyle, ile ten kraj wpłaci, więc składka nie jest darowizną, tylko zamówieniem złożonym we własnym przemyśle za pośrednictwem instytucji, która wie, jak takie rzeczy odbierać.

Przemysł, o którym mowa, jest młody i wyraźnie rośnie, choć jego rozmiaru nie da się podać jedną liczbą: opracowania liczą sektor raz szeroko, raz wąsko, i wychodzą im wielkości różniące się o rząd. Pewne jest natomiast tempo. W samym 2024 roku polskie podmioty zdobyły w Agencji sto pięćdziesiąt trzy kontrakty o wartości blisko osiemdziesięciu siedmiu milionów euro – a więc w ciągu jednego roku ponad jedną czwartą tego, co przez poprzednie dwanaście lat razem wziętych.

Są też słabości i lepiej je nazwać, niż przemilczeć. Wiele firm utrzymuje się niemal wyłącznie z kontraktów Agencji – co jest wygodne, dopóki trwa, ale nie uczy sprzedawania niczego na otwartym rynku. Do tego dochodzą doświadczenia bolesne: satelita EagleEye, najbardziej zaawansowany zbudowany dotąd w Polsce, wystartował w sierpniu 2024 roku, działał tydzień i zamilkł z powodu błędu oprogramowania. Trzy wojskowe nanosatelity PIAST, wyniesione pod koniec listopada 2025 roku, pracują.

Na koniec warto odnotować rzecz z zupełnie innego porządku. Polska podpisała Porozumienia Artemis 26 października 2021 roku jako trzynaste państwo świata – wtedy, gdy sygnatariuszy było kilkanaście, a nie siedemdziesiąt kilka. Dla kraju, który nie ma ani rakiety, ani statku załogowego, miejsce przy stole, przy którym ustala się zasady postępowania na Księżycu, jest osiągnięciem samym w sobie. I jest, jak sądzę, najlepszą ilustracją tytułu tego tematu numeru: w kosmosie liczy się dziś nie tylko to, co się potrafi wynieść, ale i to, czy się jest przy rozmowie. ■

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

eprasa.pl 360946405d

Słowniczek

Skróty podano w rozwinięciu oryginalnym – angielskim, a przy systemie GLONASS rosyjskim – bo w takiej postaci czytelnik spotka je w źródłach.

Apogeum i perygeum – najdalszy i najbliższy Ziemi punkt orbity. Dla orbit wokół Księżyca mówi się o apoluzjum i periluzjum, wokół Słońca – o aphelium i peryhelium.

Chłodzenie regeneracyjne – sposób ochrony komory spalania przed stopieniem. Ciepło odebrane ze ścianki nie ucieka na zewnątrz, lecz wraca do obiegu razem z podgrzanym paliwem – stąd nazwa. Bez niego miedziana ścianka o grubości kilku milimetrów nie wytrzymałaby trzech tysięcy stopni po drugiej stronie.

DART – od angielskiego Double Asteroid Redirection Test. Amerykańska misja, która w 2022 roku uderzyła w księżyc planetoidy Didymos i skróciła jego okres obiegu – pierwszy sprawdzony doświadczalnie sposób zmiany toru ciała niebieskiego.

Delta fau – zob. Δv.

Δv (czytaj: delta fau) – przyrost prędkości, jaki rakieta albo statek musi wytworzyć, żeby wykonać dany manewr. Podstawowa waluta lotów kosmicznych: każdy zbiornik paliwa ma go określony zapas.

DRACO – od angielskiego Demonstration Rocket for Agile Cislunar Operations – amerykański program termicznego napędu jądrowego, w którym reaktor rozszczepieniowy podgrzewa wodór.

Elipsa Hohmanna (przejście Hohmanna) – najoszczędniejszy tor między dwiema orbitami kołowymi: połowa elipsy stycznej do obu. Lot na Marsa takim torem trwa około 259 dób.

EUMETSAT – od angielskiego European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites – europejska organizacja eksploatacji satelitów meteorologicznych; właściciel i operator satelitów Meteosat.

GEO – od angielskiego Geostationary Orbit – orbita geostacjonarna na wysokości 35 786 km nad równikiem, na której satelita wygląda z Ziemi na nieruchomy.

GLONASS – od rosyjskiego Globalnaja nawigacionnaja sputnikowaja sistiema – rosyjski globalny system nawigacji satelitarnej.

GPS – od angielskiego Global Positioning System – amerykański system nawigacji satelitarnej, najstarszy z czterech działających. Pozostałe trzy to rosyjski GLONASS, europejski Galileo i chiński BeiDou.

HP³ – od angielskiego Heat Flow and Physical Properties Package, czyli zestaw do pomiaru strumienia ciepła – polski przyrząd misji InSight, nazywany Kretem.

ILRS – od angielskiego International Lunar Research Station – zapowiadana chińsko-rosyjska stacja badawcza na Księżycu, a zarazem nazwa kręgu państw, które przystąpiły do tego programu.

Impuls właściwy (Isp) – od angielskiego specific impulse. Miara jakości paliwa rakietowego, podawana w sekundach. Im wyższy, tym mniej paliwa trzeba na ten sam przyrost prędkości.

IRIS² – od angielskiego Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite – budowana przez Unię Europejską konstelacja łącznościowa.

ISRU – od angielskiego In-Situ Resource Utilization – wykorzystanie zasobów miejscowych. Wytwarzanie na miejscu tego, czego misja potrzebuje: tlenu, wody, paliwa.

JAXA – od angielskiego Japan Aerospace Exploration Agency – japońska agencja kosmiczna.

LEO – od angielskiego Low Earth Orbit – niska orbita okołoziemska, poniżej 2000 km. Tam krąży stacja kosmiczna i zdecydowana większość satelitów.

LRO – od angielskiego Lunar Reconnaissance Orbiter – amerykańska sonda krążąca wokół Księżyca od 2009 roku, źródło większości dzisiejszych map i pomiarów temperatury.

Ładunek użyteczny – to, dla czego w ogóle wykonuje się start: satelita, sonda albo statek załogowy. Zwykle kilka procent masy startowej rakiety.

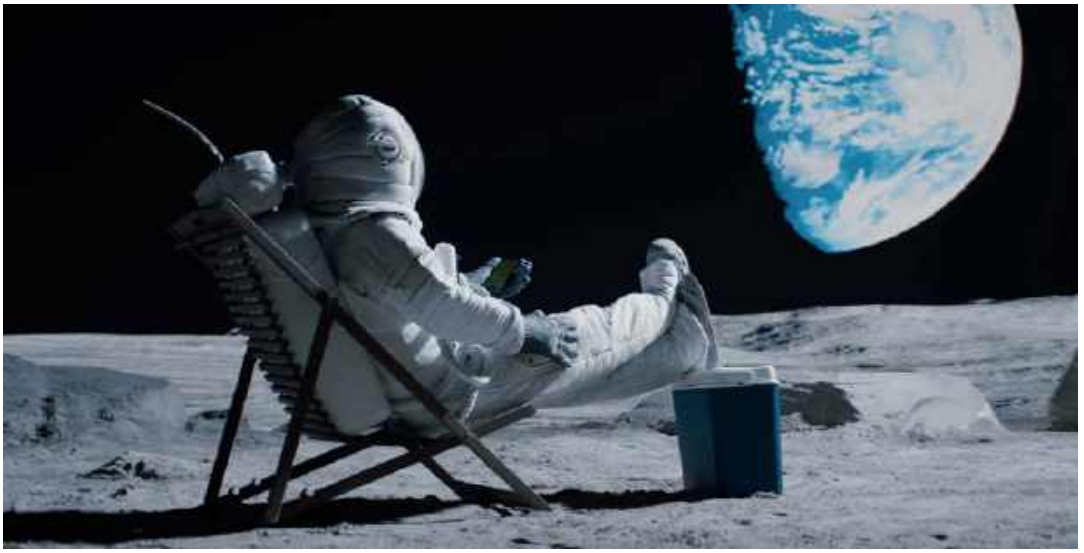
MASTER – model gruzu orbitalnego Europejskiej Agencji Kosmicznej, z którego pochodzą szacunki liczby odłamków zbyt małych, żeby je śledzić.

MEO – od angielskiego Medium Earth Orbit – orbita średnia, około dwudziestu tysięcy kilometrów, na której krążą satelity nawigacyjne.

MOXIE – od angielskiego Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment – przyrząd łazika Perseverance, który wytwarzał tlen z marsjańskiego dwutlenku węgla; najlepszy osiągnięty wynik to 12 gramów na godzinę.

Nachylenie orbity (inklinacja) – kąt między płaszczyzną orbity a płaszczyzną równika. Rakieta nie wejdzie bez dodatkowych manewrów na orbitę o nachyleniu mniejszym niż szerokość geograficzna kosmodromu.

eprasa.pl 360946405d



NASA – od angielskiego National Aeronautics and Space Administration – amerykańska agencja do spraw aeronautyki i przestrzeni kosmicznej.

NSSDC – katalog misji i ciał niebieskich prowadzony przez NASA, dziś pod nazwą NASA Space Science Data Coordinated Archive (NSSDCA) – źródło kart katalogowych, z których pochodzi część danych w podpisach pod rysunkami.

OECD – od angielskiego Organisation for Economic Co-operation and Development – Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju, wydawca sprawozdań o gospodarce kosmicznej.

Okno startowe – przedział czasu, w którym start jest w ogóle możliwy – wyznaczony przez położenie celu, a nie przez gotowość rakiety.

Orbita heliosynchroniczna (SSO) – od angielskiego Sun-Synchronous Orbit. Orbita tak dobrana, że satelita przelatuje nad każdym miejscem zawsze o tej samej godzinie czasu słonecznego. Standard w obserwacji Ziemi.

Orbita Mołnia – mocno wydłużona elipsa, której najdalszy punkt leży nad półkulą północną; satelita wisi tam niemal nieruchomo przez kilka godzin każdego obiegu. Nazwa od serii radzieckich satelitów łącznościowych.

OSNMA – od angielskiego Open Service Navigation Message Authentication – mechanizm systemu Galileo pozwalający odbiornikowi sprawdzić, czy odebrany sygnał nawigacyjny jest autentyczny.

Perygeum – zob. Apogeum i perygeum.

Punkt Lagrange'a – jedno z pięciu miejsc w układzie dwóch ciał, w którym trzeci, lekki obiekt krąży w tym samym rytmie co one i ani nie zostaje w tyle, ani nie ucieka.

Radar z syntetyczną aperturą (SAR) – od angielskiego Synthetic Aperture Radar – radar, który wykorzystuje ruch satelity, żeby zastąpić antenę o nieosiągalnej wielkości i uzyskać rozdzielczość rzędu metrów.

Sieć Dalekiego Kosmosu (DSN) – od angielskiego Deep Space Network – trzy zespoły wielkich anten NASA rozstawione co sto dwadzieścia stopni długości geograficznej, obsługujące łączność z sondami międzyplanetarnymi.

SLS – od angielskiego Space Launch System – amerykańska rakieta nośna programu Artemis, wynosząca statek Orion.

TLE – od angielskiego Two-Line Element Set – dwuwierszowy zapis parametrów orbity satelity, publikowany publicznie. Wystarcza, żeby program na komputerze albo w telefonie wyliczył, kiedy dany satelita przeleci nad naszym domem.

UNOOSA – od angielskiego United Nations Office for Outer Space Affairs – Biuro Narodów Zjednoczonych do spraw Przestrzeni Kosmicznej, prowadzące rejestr obiektów wynoszonych na orbitę.

Zespół Kesslera – stan, w którym odłamki powstałe z jednego zderzenia wywołują kolejne zderzenia, a gruzu przybywa samoczynnie, nawet gdyby zaprzestano startów.

eprasa.pl 360946405d

Bibliografia

Wykaz obejmuje źródła, z których pochodzą liczby i fakty przytoczone w tym temacie numeru. Nie jest to spis wszystkich przeczytanych materiałów, tylko tych pozycji, do których czytelnik może sięgnąć sam i na których oparto dane liczbowe.

Rejestry, katalogi i sprawozdania

Rejestr obiektów wypuszczonych w przestrzeń kosmiczną, prowadzony przez Biuro Narodów Zjednoczonych do spraw Przestrzeni Kosmicznej (UNOOSA) – liczba państw z własnym satelitą, stan na koniec 2025 roku.
OECD, „The Space Economy at a Glance 2026", wrzesień 2026 – udział państw w lotach kosmicznych i wydatki publiczne.
Space Foundation, „The Space Report", wydanie z 2026 roku – wartość światowej gospodarki kosmicznej za rok 2025.
NASA Space Science Data Coordinated Archive (NSSDCA), dawniej National Space Science Data Center (NSSDC) – karty katalogowe misji i ciał niebieskich: Sputnik 1, pierwsze loty załogowe, dane o Marsie.
Katalog startów orbitalnych Jonathana McDowella – stan konstelacji Starlink.
European GNSS Service Centre – stan konstelacji Galileo.
Our World in Data – opracowanie danych UNOOSA o liczbie państw z własnym satelitą; podstawa wykresu na rysunku 2.
Katalog obiektów orbitalnych amerykańskich sił kosmicznych – liczby skatalogowanych odłamków po zderzeniach i zestrzeleniach.
Półroczne sprawozdania operatora konstelacji Starlink składane amerykańskiej Federalnej Komisji Łączności (FCC) – liczby manewrów omijania.
Dane amerykańskiego Federalnego Urzędu Lotnictwa (FAA) o licencjach na starty i powroty – liczba licencji wydanych w roku budżetowym 2025 oraz zestawienie zbiorcze za lata 1989–2025.

Dokumenty programowe i techniczne

NASA – ogłoszenie o przebudowie programu Artemis z 24 marca 2026 roku oraz strony misyjne Artemis II i Artemis III.
NASA – instrukcja lotu rakiety Saturn V dla misji Apollo 12 (SA-507): masy i proporcje rakiety.
Dokument interfejsowy systemu GPS (IS-GPS-200) – wartość poprawki relatywistycznej.
Norma NASA-STD-3001 – dopuszczalna dawka promieniowania w całej karierze astronauty.
Europejska Agencja Kosmiczna – Space Debris User Portal oraz sprawozdanie o stanie środowiska orbitalnego z września 2026 roku, wraz z wynikami modelu MASTER.
Raport amerykańskiego instytutu normalizacyjnego o korzyściach gospodarczych z systemu GPS – szacunek strat z utraty sygnału.
Komunikat rządu brytyjskiego o budowie krajowego ośrodka czasu, marzec 2026 – szacunek 1,4 miliarda funtów strat na dobę.
Karta Zerowych Śmieci Europejskiej Agencji Kosmicznej – liczba sygnatariuszy i skrócenie dopuszczalnego czasu pozostawania na orbicie z 25 lat do 5.
Komisja Europejska – decyzja o rozszerzeniu konstelacji IRIS², sierpień 2026.
Plan działania Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego i Eurocontrolu w sprawie zakłócania sygnału nawigacyjnego, marzec 2026, oraz aktualizacja biuletynu bezpieczeństwa z lipca 2026.

Publikacje naukowe i prasa fachowa

Wyniki przyrządu RAD na pokładzie łazika Curiosity, ogłoszone w czasopiśmie Science – dawka promieniowania w locie na Marsa.
Pomiary przyrządu Diviner na sondzie Lunar Reconnaissance Orbiter – temperatury na dnie kraterów przy biegunach Księżyca.
Wyniki misji LCROSS z 2009 roku – zawartość lodu wodnego w materiale wyrzuconym z krateru.
Prace o składzie chemicznym próbek z planetoid Ryugu i Bennu, ogłaszane po 2022 roku.
Praca o liczbie satelitów planowanych do 2040 roku, ogłoszona w czasopiśmie Nature.
Audyt Sieci Dalekiego Kosmosu wykonany przez biuro kontroli wewnętrznej NASA, omówiony w Physics Today.
Komunikaty Jet Propulsion Laboratory o rekordach łączności laserowej.
Serwis Królewskiego Obserwatorium Belgii – dawki promieniowania na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej.
D. J. Kessler, B. G. Cour-Palais, „Collision Frequency of Artificial Satellites", Journal of Geophysical Research 1978 – praca, od której pochodzi nazwa zespołu Kesslera.
Metaanaliza ubytku gęstości mineralnej kości u astronautów, npj Microgravity – podstawa rysunku 28.
Praca zespołu Jet Propulsion Laboratory o jeździe autonomicznej łazika Perseverance, Science Robotics – podstawa rysunku 37.
Praca o zmianie okresu obiegu Dimorphosa po uderzeniu sondy DART, Nature – podstawa rysunku 39.
Analiza korzyści społeczno-gospodarczych organizacji EUMETSAT – stosunek korzyści do kosztów programów satelitów meteorologicznych.
Materiały obserwatorium imienia Very Rubin – udział zdjęć ze śladem satelity.

Źródła polskie

Ministerstwo Rozwoju i Technologii – dane o trzynastu latach członkostwa Polski w Europejskiej Agencji Kosmicznej: liczba i wartość projektów, kontrakty roku 2024, wysokość składki za 2025 rok z podziałem na część obowiązkową i nieobowiązkową (depesza PAP z 4 czerwca 2025).
Deklaracja Polski na Radzie Ministerialnej Europejskiej Agencji Kosmicznej, listopad 2025 – 731 milionów euro na lata 2026–2028 wobec 496 milionów poprzednio, w tym 550 milionów na programy nieobowiązkowe; komunikat Ministerstwa Finansów.
Relacje zespołu Centrum Badań Kosmicznych PAN budującego przyrządy MUPUS i Kret.
Materiały Europejskiej Agencji Kosmicznej i Polskiej Agencji Kosmicznej dotyczące misji Ignis.
Liczby policzone w redakcji – energie uderzenia odłamków, prędkości obrotowe kosmodromów, czas przelotu na Marsa, czas wędrówki sygnału, poprawki relatywistyczne – są jako obliczenia redakcyjne oznaczone w podpisach pod rysunkami, przy których występują.

eprasa.pl 360946405d

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.

Dwadzieścia tysięcy jenów
Shuji Nakamura

Czerwona dioda zaświeciła w 1962 roku. Potem przyszły pomarańczowa, żółta i zielona. Na niebieską świat czekał trzydzieści jeden lat – i nie dlatego, że nikt nie próbował, tylko dlatego, że próbowali prawie wszyscy i prawie wszyscy odpuścili.

Kiedy wreszcie się udało, firma, w której pracował jeden z tych, którzy nie odpuścili, wypłaciła mu za kluczowy patent nagrodę w wysokości dwudziestu tysięcy jenów. To było wtedy około dwustu dolarów. Na patentach z tej samej rodziny ta sama firma zarobiła, według ustaleń sądu, sto dwadzieścia miliardów jenów.

To jest historia o tym, jak się robi rzecz, której trzydzieści lat nie potrafił zrobić nikt. I o tym, co się potem z tym robi.

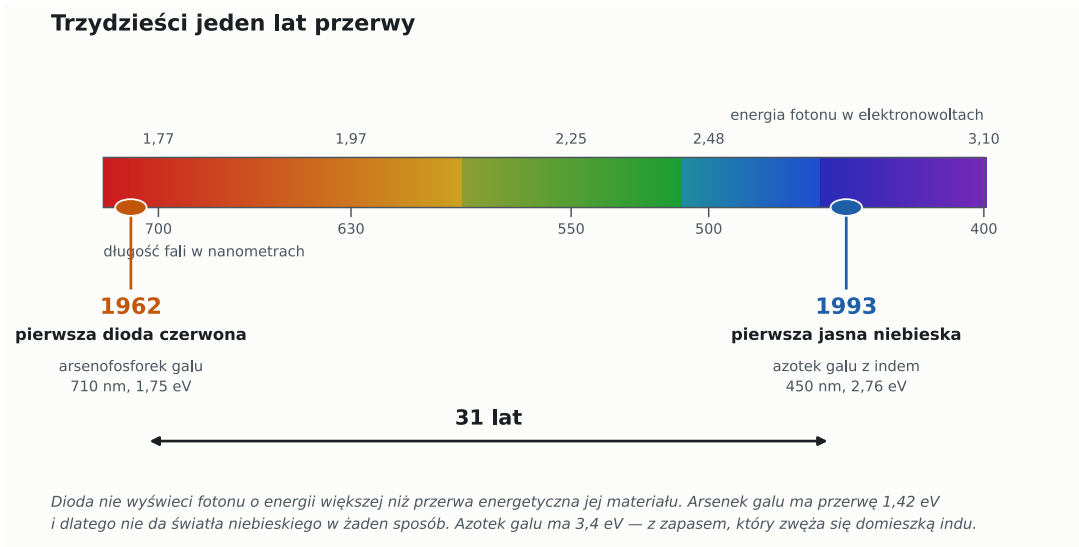
Dlaczego niebieska jest tak trudna

Dioda świecąca to jeden kryształ półprzewodnika, w którym podczas wzrostu wytworzono dwa obszary: jeden z domieszką dającą swobodne elektrony, czyli typ n, i drugi z domieszką dającą dziury, czyli wolne miejsca po elektronach – typ p. Granica między nimi to złącze. Gdy popłynie przez nie prąd, elektrony spotykają się z dziurami. Część tych spotkań kończy się wyświeceniem fotonu, część oddaniem energii w postaci ciepła, i o to, żeby pierwszych było jak najwięcej, toczy się cała gra. Barwę fotonu wyznacza w przybliżeniu szerokość przerwy energetycznej materiału, czyli odstęp między pasmem walencyjnym a pasmem przewodnictwa: elektron spada z góry na dół, a foton zabiera tę właśnie porcję energii.



Shūji Nakamura. Fotografia autorstwa 文部科学省ホームページ, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=118691060

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 1. Trzydzieści jeden lat przerwy. Pierwsza dioda czerwona – za pracą N. Holonyaka i S. F. Bevacquy w „Applied Physics Letters" z 1 grudnia 1962 roku; urządzenie świeciło przy 710 nanometrach. Pierwsza jasna dioda niebieska – ogłoszona przez wytwórcę w listopadzie 1993 roku, opisana w pracy S. Nakamury, T. Mukaia i M. Senoha w „Applied Physics Letters" z 28 marca 1994 roku. Przerwa energetyczna azotku galu 3,4 elektronowolta

I tu leży cały kłopot. Foton światła czerwonego, o długości fali 630 nanometrów, niesie niespełna dwa elektronowolty energii. Foton niebieski, 450 nanometrów, niesie blisko dwa i osiem dziesiątych elektronowolta. Żeby wytworzyć foton niebieski, trzeba więc materiału o przerwie energetycznej co najmniej tak szerokiej – a materiały o szerokiej przerwie są trudne: trudno je wyhodować w postaci porządnego kryształu i trudno je domieszkować.

Arsenek galu, na którym stała cała wczesna optoelektronika, ma przerwę równą 1,42 elektronowolta. Z niego, i z jego pochodnych, da się zrobić podczerwień, czerwień i, przy pewnym wysiłku, żółć. Niebieskiego nie da się z niego zrobić w żaden sposób, bo nie ma skąd wziąć energii.

Materiałem, który obiecywał niebieskie światło, był azotek galu. Jego przerwa energetyczna wynosi 3,4 elektronowolta, co odpowiada nadfioletowi tuż poza granicą widzialności; zastępując część atomów galu atomami indu, czyli tworząc stop, można tę przerwę zwężać i zejść dokładnie tam, gdzie trzeba. Wiedziano o tym od lat sześćdziesiątych. Przez następne dwadzieścia lat, aż do przełomu z połowy lat osiemdziesiątych, nie umiano jednak z azotku galu zrobić niczego, co świeciłoby jasno, bo na drodze stały dwie przeszkody i obie wyglądały na nie do przejścia.

Istniały wprawdzie niebieskie diody z węglika krzemu i od 1990 roku można je było kupić, ale były tak słabe, że nadawały się najwyżej na lampkę kontrolną. Ich moc to dziesiątki mikrowatów – tyle, ile trzeba na lampkę kontrolną i nic ponadto.

Fabryka luminoforów w prowincji

W 1979 roku do firmy Nichia Chemical Industries w mieście Anan, w prefekturze Tokushima na wyspie Sikoku, przyszedł do pracy dwudziestoczteroletni magister elektrotechniki, świeżo po dyplomie na miejscowym uniwersytecie. Firma miała wtedy mniej niż dwieście osób i wytwarzała luminofory – proszki, które świecą pod wpływem promieniowania, używane w kineskopach telewizorów i w świetlówkach.

Przez blisko dziewięć lat Nakamura robił tam diody z fosforku galu i arsenku galu – czerwone i zielone, czyli dokładnie to, co już umiał robić każdy. Sprzedawały się źle, bo konkurencja była duża, a firma mała. W którymś momencie uznał, że to nie ma sensu, i zrobił rzecz, której pracownikom japońskich firm robić nie wypada: poszedł bezpośrednio do założyciela, Nobuo Ogawy, z pomysłem.

Pomysł brzmiał: zróbmy niebieską diodę z azotku galu. Potrzebuję na to około pięciuset milionów jenów, czyli wtedy jakichś czterech

eprasa.pl 360946405d

milionów dolarów, na aparaturę i na pomieszczenia. Była to suma odpowiadająca dwóm procentom rocznej sprzedaży całej firmy.

Ogawa się zgodził. Do dziś nie bardzo wiadomo dlaczego; sam Nakamura pisał po latach, że prezes był już bardzo stary i prawdopodobnie nikogo się nie bał. Osobno, za namową dawnego profesora z Tokushimy, Shiro Sakaia, firma wysłała go na rok na Uniwersytet Florydy, żeby nauczył się hodowania kryształów metodą osadzania z fazy gazowej. Na miejscu okazało się, że laboratorium takiego urządzenia nie ma. Dziesięć z dwunastu miesięcy spędził więc na budowaniu go od zera, zamiast na badaniach.

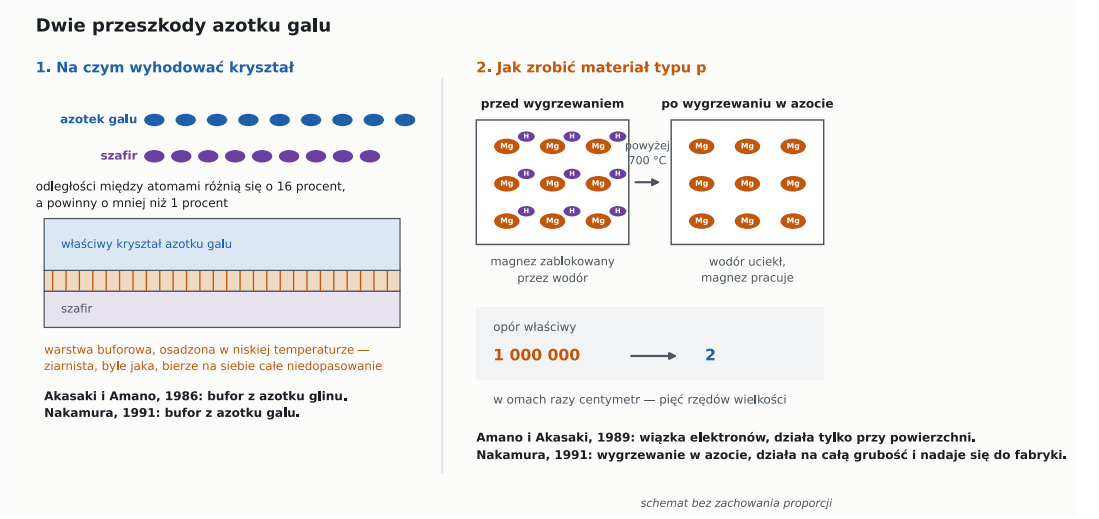
Przeszkoda pierwsza: na czym to wyhodować

Kryształ półprzewodnika hoduje się na podłożu w procesie nazywanym epitaksją – na płytce innego kryształu, której atomy ustawiają rosnącą warstwę. Żeby to działało, odległości między atomami podłoża i warstwy muszą być zbliżone. Przyjmuje się, że różnica powinna być mniejsza niż jeden procent.

Dla azotku galu nie ma podłoża, które by ten warunek spełniało. Hoduje się go na szafirze, a różnica odległości międzyatomowych wynosi tam szesnaście procent. Szesnaście wobec wymaganego jednego. Rosnąca warstwa jest w takich warunkach popękana i pełna defektów, a defekty w diodzie są miejscami, w których elektron oddaje energię na ciepło zamiast na światło.

Rozwiązanie znaleźli w połowie lat osiemdziesiątych Isamu Akasaki i Hiroshi Amano z uniwersytetu w Nagoi, i jest ono pięknie przewrotne. Zamiast walczyć o idealny kryształ od pierwszej warstwy, osadzili najpierw w niskiej temperaturze cieniutką warstwę azotku glinu – warstwę byle jaką, ziarnistą, bez porządnej struktury. Dopiero na niej, w wysokiej temperaturze, rosła warstwa właściwa. Ta pośrednia warstewka bierze na siebie większość niedopasowania: jej ziarna układają się, jak im wypadnie, a potem zrastają w ciągły podkład o jednej orientacji, i to on, a nie szafir, narzuca wzrost właściwego kryształu. Defektów nie da się tak usunąć do końca, ale ubywa ich o całe rzędy wielkości – i to wystarczyło.

Nakamura powtórzył ten pomysł kilka lat później, podkładając zamiast azotku glinu azotek galu. Wcześniej jednak musiał przerobić sam piec. W typowym reaktorze gazy wpuszcza się poziomo nad rozgrzaną płytkę, ale gorąca płytka



Rysunek 2. Dwie przeszkody i jak je usunięto, schematycznie i bez zachowania proporcji. Niedopasowanie sieci 16 procent oraz wymaganie poniżej 1 procent – za wykładami noblowskimi Isamu Akasakiego i Hiroshiego Amano. Warstwa buforowa z azotku glinu – praca H. Amano i współautorów w „Applied Physics Letters" z 1986 roku; wariant z azotkiem galu – praca S. Nakamury w „Japanese Journal of Applied Physics" z 1991 roku. Pierwsze przewodnictwo typu p, uzyskane naświetlaniem wiązką elektronów o małej energii – praca H. Amano, M. Kita, K. Hiramatsu i I. Akasakiego w tym samym czasopiśmie z 1989 roku. Zastąpienie go wygrzewaniem w azocie oraz spadek oporu właściwego z miliona do dwóch omów razy centymetr – praca S. Nakamury i współautorów, tamże, 1992

eprasa.pl 360946405d

wytwarza prąd konwekcyjny, który unosi je do góry, zanim zdążą cokolwiek osadzić; część reaguje w locie i opada na płytkę jako biały proszek. Nakamura dołożył drugi strumień gazu, obojętnego, skierowany z góry prosto w dół, który dociskał gazy robocze do powierzchni. Nazwał to reaktorem dwustrumieniowym, poświęcił na jego dopracowanie półtora roku i dopiero w takim piecu zrobił swoją warstwę buforową.

Przeszkoda druga: wodór, o którym nikt nie wiedział

Druga przeszkoda była poważniejsza. Żeby zrobić diodę, trzeba złącza, a do złącza trzeba obu rodzajów materiału opisanych na początku: typu n i typu p. Azotek galu typu n robiono bez trudu. Azotku galu typu p nie umiał zrobić nikt. Wprowadzano do kryształu magnez, który powinien działać jako akceptor, czyli odbierać elektrony – i nie działał. Materiał pozostawał tak oporny, że praktycznie nie przewodził – rzędu miliona omów razy centymetr.

W 1989 roku Amano i Akasaki znaleźli na to sposób przez przypadek: ostrzeliwali próbkę wiązką elektronów o małej energii, żeby ją obejrzeć, i zauważyli, że po takim naświetleniu zaczyna przewodzić. Tak powstało pierwsze w historii złącze p–n w azotku galu. Dlaczego to działa, nie wiedział nikt, łącznie z nimi.

Rozwiązał to Nakamura, i to w sposób, który po wyjaśnieniu wygląda na oczywisty. W grudniu 1991 roku wygrzał próbkę w atmosferze azotu, czyli w atmosferze bez wodoru. Opór właściwy spadł z miliona do dwóch, w tej samej jednostce: pół miliona razy, czyli prawie sześć rzędów wielkości, zwykłym wygrzewaniem.

Dlaczego tak się dzieje, opisał rok później. Azotek galu hoduje się w atmosferze amoniaku, a amoniak w wysokiej temperaturze rozpada się, uwalniając wodór. Atom wodoru przyczepia się do atomu magnezu i tworzy z nim obojętną parę. Magnez w krysztale jest, tylko jest zablokowany – a wygrzewanie w azocie go odblokowuje, bo wodór wtedy ucieka. Przy okazji wyszło, dlaczego działała wiązka elektronów: ona ten wodór wybijała.

Różnica między jednym a drugim sposobem nie jest akademicka i to ona rozstrzygnęła o produkcji na skalę przemysłową. Wiązka elektronów aktywuje tylko cienką warstwę przypowierzchniową, bo głębiej nie dociera. Wygrzewanie działa na całą grubość warstwy naraz, w piecu, na wielu płytkach jednocześnie, i nie wymaga niczego poza piecem. Jedno jest doświadczeniem laboratoryjnym, drugie jest procesem produkcyjnym.

Dwie uwagi, które wypada zrobić, zanim pójdziemy dalej. Po pierwsze, wygrzewanie w atmosferze amoniaku cofa cały efekt, bo amoniak dostarcza wodór z powrotem – Nakamura to sprawdził i opisał w tej samej pracy. Po drugie, w literaturze krążą dwie różne temperatury i obie są prawdziwe: wodór zaczyna opuszczać kryształ w okolicach czterystu stopni, ale żeby dostać porządne przewodnictwo typu p, trzeba wygrzewać powyżej siedmiuset.

Co z tego wyszło

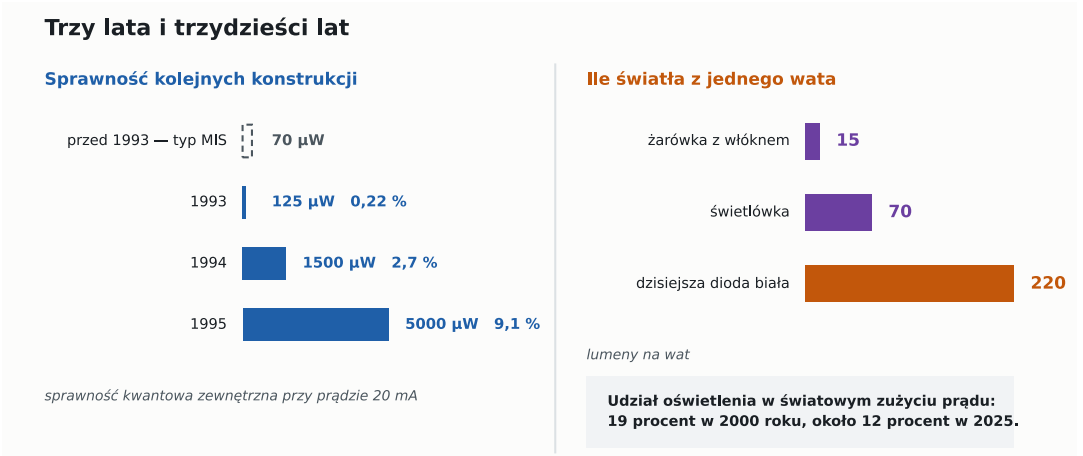
Dalej poszło szybko, co w tej dziedzinie zdarza się rzadko. W 1993 roku dioda Nakamury dawała 125 mikrowatów mocy przy sprawności kwantowej zewnętrznej 0,22 procenta – to ta część wstrzykniętych elektronów, która zamienia się w fotony wychodzące z obudowy jako światło. Rok później, z dopracowaną warstwą czynną ze stopu z indem, 1500 mikrowatów i 2,7 procenta: dwanaście razy więcej w ciągu roku. W 1995 roku, ze studnią kwantową, 5000 mikrowatów, czyli 5 miliwatów, i 9,1 procenta.

Dla porównania: wcześniejsze niebieskie diody dawały około siedemdziesięciu mikrowatów. Konkurencyjna konstrukcja z 1993 roku miała jasność dwustu milikandeli. Nichia ogłosiła swoją diodę w listopadzie 1993 roku i wprowadziła ją do sprzedaży w 1994; wersja z 1994 roku przekraczała już tysiąc milikandeli, czyli całą kandelę.

I tu rzecz, którą warto wiedzieć. Biała dioda nie istnieje. To, co świeci dziś w lampie sufitowej, w latarce i w ekranie telefonu, to dioda niebieska pokryta luminoforem – proszkiem z tej samej rodziny materiałów, na której wyrosła firma Nichia, choć innym związkiem niż w kineskopach; w białych diodach jest to granat itrowo-glinowy z domieszką ceru. Luminofor pochłania część światła niebieskiego i wypromieniowuje je z mniejszą energią, jako szerokie pasmo żółte; resztę energii oddaje jako ciepło. Niebieskie i żółte razem oko widzi jako białe. Opatentowano to w Nichii w 1996 roku i w tym samym roku wprowadzono do sprzedaży, a autorem rozwiązania był inny zespół firmy, nie Nakamura.

Skutek widać w liczbach, które dotyczą każdego. Żarówka z włóknem daje około

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 3. Po lewej: moc i sprawność kolejnych konstrukcji z lat 1993–1995, za pracą D. Feezella i S. Nakamury w „Comptes Rendus Physique" z 2018 roku oraz za wykładem noblowskim Nakamury. Po prawej: skuteczność świetlna źródeł światła – wartości dla żarówki i świetlówki za zestawieniem Departamentu Energii USA, wartość dla dzisiejszych diod białych za przeglądem w „Nature Energy" z 2025 roku; rekord laboratoryjny 303 lumeny z wata, ogłoszony w 2014 roku, nie jest wartością produktu wytwarzanego na skalę przemysłową i w zestawieniu go nie ma

piętnastu lumenów z wata. Świetlówka siedemdziesiąt. Najlepsze dzisiejsze diody białe dają 220 – blisko piętnaście razy więcej niż żarówka. W 2000 roku oświetlenie zużywało dziewiętnaście procent światowej energii elektrycznej, w 2025 roku około dwunastu. Nie dlatego, że świecimy mniej: energii na oświetlenie idzie dziś o jedną trzecią więcej niż wtedy, z 2650 do 3600 terawatogodzin. Po prostu z każdego wata jest kilka razy więcej światła, a reszta zużycia prądu rosła szybciej.

Nagroda, która nie jest tylko jego

W 2014 roku Królewska Szwedzka Akademia Nauk przyznała Nagrodę Nobla z fizyki „za wynalezienie wydajnych niebieskich diod elektroluminescencyjnych, które umożliwiły powstanie jasnych i energooszczędnych źródeł białego światła". Nagrodę podzielono na trzy równe części: Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Shuji Nakamura.

I to jest miejsce, w którym trzeba uważać, bo popularne opowieści mają skłonność do upraszczania. Warstwę buforową, bez której nie ma dobrego kryształu, zrobili Akasaki i Amano. Pierwszy azotek galu typu p, a z nim pierwsze azotkowe złącze p–n, bez którego nie ma diody, zrobili Akasaki i Amano. Nakamura wyjaśnił, dlaczego ich sposób działa, zastąpił go sposobem nadającym się do produkcji na skalę przemysłową, dołożył własny reaktor, własną warstwę buforową i warstwy czynne

Dlaczego barwa zależy od materiału

Energia jednego fotonu i długość jego fali są ze sobą związane prostym wzorem, który da się policzyć na kalkulatorze. Energia w elektronowoltach to 1240 podzielone przez długość fali w nanometrach.

Czerwony, 630 nanometrów: 1240 przez 630 daje niecałe dwa elektronowolty.

Niebieski, 450 nanometrów: 1240 przez 450 daje blisko dwa i osiem dziesiątych elektronowolta.

Teraz najważniejsze. Prawie całe światło diody ma energię fotonów bliską szerokości przerwy energetycznej jej materiału. Nieco większe energie się zdarzają, bo elektrony mają pewien rozrzut energii cieplnej, ale fotonów o energii znacznie większej od przerwy już nie ma. Materiał o przerwie 1,42 elektronowolta – a tyle ma arsenek galu – nie da więc światła niebieskiego, choćby się nie wiem jak starać. Da podczerwień i czerwień.

Azotek galu ma przerwę 3,4 elektronowolta, co odpowiada falom o długości około 365 nanometrów, czyli nadfioletowi. To więcej, niż trzeba, i właśnie dlatego jest dobry: zastępując w krysztale część galu indem, przerwę się zwęża i schodzi z barwą tam, gdzie się chce – do fioletu, do błękitu, do zieleni. Z materiału o zbyt wąskiej przerwie nie wyciśnie się krótszej fali żadnym sposobem, a materiał o przerwie szerszej, niż trzeba, daje się dostroić w dół. Dlatego azotek galu wygrał.

eprasa.pl 360946405d

Dlaczego właśnie niebieska była tak ważna

Przez trzydzieści lat brakowało w komplecie jednej barwy – i akurat tej, bez której dwóch rzeczy nie da się zrobić wcale, a nie tylko gorzej.

Białe światło. Biel nie jest barwą widmową; oko składa ją z trzech bodźców. Obie drogi, którymi dziś robi się białą lampę, zaczynają się od światła niebieskiego: albo niebieska dioda pobudza luminofor dosypujący zieleń i czerwień, albo świecą razem trzy diody – czerwona, zielona i niebieska. Diody czerwone i zielone były do kupienia od lat sześćdziesiątych i białej lampy z nich nie zrobiono, bo zrobić się nie dało. Materiały Komitetu Noblowskiego z 2014 roku mówią to bez ozdób: białe światło, które oświetla nam świat, daje tylko trójka czerwony–zielony–niebieski. Niebieska dioda nie była więc czwartą barwą do kolekcji, lecz brakującym elementem, który zamyka zbiór.

Gęsty zapis optyczny. Wiązki światła nie da się skupić w punkt. Średnica plamki, w jaką obiektyw zbiera wiązkę, jest proporcjonalna do długości fali i odwrotnie proporcjonalna do apertury numerycznej obiektywu, czyli do jego zdolności zbierania światła padającego pod dużym kątem. Bitów mieści się na płycie tyle, ile plamek, więc gęstość zapisu rośnie jak kwadrat stosunku apertury numerycznej do długości fali. Stąd cała historia krążków. Płyta CD (Compact Disc): norma ECMA-130 (European Computer Manufacturers Association) z 1996 roku zakłada 780 nanometrów i aperturę 0,45, a odstęp ścieżek wynosi 1,6 mikrometra. Płyta DVD (Digital Versatile Disc), norma ECMA-267 z 1997 roku: 650 nanometrów, apertura 0,60, odstęp ścieżek 0,74 mikrometra, pojemność nominalna 4,7 gigabajta. Blu-ray: 405 nanometrów, apertura 0,85, odstęp 0,32 mikrometra, około 25 gigabajtów na jednej warstwie.

Pojemności płyty CD nie podaje żadna z tych norm, a znane 650...700 megabajtów to megabajty binarne – w jednostkach dziesiętnych, w jakich podaje się 4,7 i 25, wychodzi z tego około 0,68 gigabajta. Postęp wygląda więc tak: 0,68, 4,7, 25 gigabajta, czyli trzydzieści siedem razy więcej na tym samym krążku. Sama optyka daje z tego około trzynastu razy – tyle wynosi kwadrat stosunku apertur razy kwadrat stosunku fal; resztę dołożyły cieńsza warstwa, lepsze kodowanie i gęstsze upakowanie danych.

Źródłem światła w czytniku Blu-ray jest laser na azotku galu – dokładnie ten materiał. Nazwa jest zresztą handlowa: norma ISO 21348 (International Organization for Standardization) zaczyna zakres błękitu przy 450 nanometrach, a 405 leży poniżej, w fiolecie. I ten laser zrobił także zespół Nakamury w Nichii. Pierwszą laserową diodę z azotku galu, pracującą impulsowo w temperaturze pokojowej przy 417 nanometrach, opisał w styczniu 1996 roku, a pracę ciągłą – w grudniu tego samego roku. Od diody do lasera minął rok.

Krótka fala przydała się potem i tam, gdzie nikt tego nie planował. W naświetlarkach poligraficznych fiołkowe diody wyparły duże lasery zielone z podwajaniem częstotliwości. Niebieskimi diodami laserowymi spawa się miedź, bo przy 445 nanometrach pochłania ona około siedemdziesięciu procent padającej mocy, a przy 1030 nanometrach – około pięciu; dlatego styki akumulatorów łączy się dziś światłem niebieskim, a nie podczerwonym. W projektorach laserowych niebieski jest jedną z trzech barw podstawowych i bez niego znów nie ma obrazu.

ze stopów z indem, a potem jako pierwszy zrobił z tego wszystkiego diodę świecącą na tyle jasno i wytwarzaną na tyle tanią technologią, żeby można ją było produkować i sprzedawać na skalę masową. Historyk techniki Christophe Lécuyer ujął to zwięźle: praca Nakamury nie mogłaby powstać bez pracy Akasakiego.

To, że w powszechnej pamięci został jeden człowiek, a nie trzech, nie jest przypadkiem. Jego pracodawca prowadził w latach dziewięćdziesiątych energiczną kampanię prasową, przedstawiając go jako ojca niebieskiej diody. Warto o tym pamiętać przy czytaniu wszystkich historii o samotnych wynalazcach.

Dwadzieścia tysięcy jenów

Wracamy do kwoty z tytułu. Za patent na sposób wytwarzania materiału typu p – ten, który otworzył drogę do produkcji diod niebieskich – Nichia wypłaciła mu nagrodę w wysokości dwudziestu tysięcy jenów. Nie wniósł wtedy żadnych zastrzeżeń i przez następne dziesięć lat też nie.

Kolejność dalszych wydarzeń jest ważna, bo bywa podawana na opak. W 1999 roku Nakamura odszedł z Nichii na Uniwersytet Kalifornijski w Santa Barbara. W grudniu 2000 roku to Nichia pozwała jego – w sądzie w Stanach Zjednoczonych, zarzucając ujawnienie tajemnicy przedsiębiorstwa konkurentowi. Dopiero osiem miesięcy później, w sierpniu 2001 roku, Nakamura wniósł własny pozew w Tokio, i to o rzecz zupełnie inną: o wynagrodzenie dla twórcy wynalazku. Powiedział wprost dziennikarzom, że nie zamierzał nikogo pozywać, dopóki nie pozwano jego.

We wrześniu 2002 roku sąd okręgowy w Tokio orzekł najpierw, że patent do niego nie należy, ale wynagrodzenie mu się należy. W styczniu 2004 roku wyznaczył jego wysokość: dwadzieścia

eprasa.pl 360946405d

miliardów jenów. Był to w Japonii wyrok bez precedensu. Sąd ustalił przy okazji, że firma zarobiła na tym patencie sto dwadzieścia miliardów jenów.

Do wypłaty nie doszło. W styczniu 2005 roku, przed sądem wyższej instancji, stanęła ugoda na osiemset czterdzieści trzy miliony jenów. Sąd ten wycenił sam patent na sześćset milionów jenów, czyli na jakieś trzy procent tego, co zasądził sąd pierwszej instancji. Nakamura przyjął ugodę, bo szanse na wygraną w Sądzie Najwyższym oceniał na jedną tysięczną. Na konferencji prasowej nazajutrz powiedział, że został do ugody zmuszony, że sąd wyższej instancji praktycznie nie przeczytał złożonych przez niego dokumentów i że przyjechał do Japonii tylko po to, żeby móc to powiedzieć.

Jedno zdanie z tej konferencji nadaje się na morał i jest w nim więcej satysfakcji, niż się na pierwszy rzut oka wydaje. Powiedział, że dwadzieścia tysięcy jenów, które dostał w chwili wynalazku, zostało ostatecznie pomnożone – i że japońskie firmy przeszły od tego czasu całkowitą zmianę. To już jego ocena, nie nasza, ale warto ją zapamiętać: w Japonii jego proces bywa przywoływany jako punkt odniesienia w sprawach o wynagrodzenie dla twórcy wynalazku pracowniczego.

A niebieska dioda świeci. W każdym telefonie, w każdej lampie, w każdym ekranie – pod warstwą żółtego luminoforu, czyli pod proszkiem z tej samej rodziny materiałów, na której wyrosła mała firma z Tokushimy. ■

Wiesław Marciniak

Od autora – polski akcent

Jako wieloletni pracownik (w latach 1987–1994 dyrektor) warszawskiego Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych nie mogę nie wspomnieć o wizycie Profesora Nakamury w ITME (wrzesień 2007 roku) i jego zainteresowaniu technologią opracowywaną w naszym instytucie. Przyleciał on wtedy do Polski, aby odebrać prestiżową **Nagrodę im. prof. Jana Czochralskiego** (Jan Czochralski Award), przyznaną mu przez European Materials Research Society (E-MRS) za epokowe odkrycie wydajnej niebieskiej diody LED.

To właśnie podczas tego pobytu noblista (wtedy jeszcze przed Nagrodą Nobla, którą otrzymał w 2014 roku) odwiedził wiodące warszawskie ośrodki zajmujące się technologią azotku galu (GaN) i inżynierią materiałową – w tym **Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych (ITME)** przy ul. Wólczyńskiej oraz współpracujący z nim Instytut Wysokich Ciśnień PAN (Unipress) i firmę Ammono. Pod koniec lat 90. i na początku dwutysięcznych w Polsce realizowany był wielki rządowy program badawczy celowany w niebieski laser i diody, w którym **ITME** odgrywało kluczową rolę. W instytucie rozwijano zaawansowane technologie wytwarzania warstw epitaksjalnych GaN na podłożach szafirowych i węglika krzemu (SiC), co było zbieżne z tematyką prac technologicznych, które Nakamura zapoczątkował w firmie Nichia. Profesor Nakamura żywo interesował się unikalnymi, polskimi metodami wzrostu kryształów azotku galu. Odwiedzając Warszawę, chciał na własne oczy zobaczyć zaplecze technologiczne, w tym laboratoria epitaksji metaloorganicznej (MOVPE), którymi dysponowało ITME i partnerzy konsorcjum.

REKLAMA

www.UlubionyKiosk.pl

Październik to dobry moment, żeby trochę zwolnić i rozejrzeć się dookoła. Tym bardziej że technologia coraz rzadziej stoi gdzieś obok nas – coraz częściej nosimy ją na sobie, wkładamy do uszu, powierzamy jej mieszkanie, zdrowie, transport i sporą część codziennych decyzji. W tym numerze sprawdzamy więc zarówno rzeczy bardzo bliskie człowiekowi, jak i takie, które pozwalają od niego na chwilę uciec.

Zaczynamy od miejskich rowerów elektrycznych i pytania, czy e-bike może rzeczywiście zastąpić samochód albo komunikację w codziennych dojazdach. Zaglądamy też do świata technologii neo-retro, gdzie kasety, fizyczne klawiatury, piksele i winyle wracają wyposażone w USB-C i Bluetooth. Sprawdzamy zatyczki Minuendo, które mają chronić słuch bez odbierania przyjemności z koncertu, przyglądamy się temu, jak naprawdę powinno się dbać o kręgosłup, oraz zastanawiamy się, dlaczego Wi-Fi 8 nie zamierza już ścigać się wyłącznie na gigabity.

W sekcji testów mocnych nazw nie brakuje. iPhone 18 Pro próbuje ponownie uzasadnić obecność słowa „Pro" w nazwie, Insta360 X6 pozwala najpierw nagrać wszystko dookoła, a dopiero później zdecydować o kadrze, natomiast Luna Pro sprawdza, ile technologii można upchnąć w kamerze, która ma po prostu działać. Do tego dochodzą między innymi Sony ULT Tower 5 i 7, audiofilski Discman FiiO DM15 R2R, Dreame Air AquaCycle Pro, Aqara FP400 i kilka urządzeń, wobec których tym razem byliśmy wyraźnie mniej wyrozumiali.

Motoryzacyjnie spotykają się dwa bardzo różne światy. Hyundai IONIQ 6 N udowadnia, że elektryk może nauczyć się kilku sztuczek zarezerwowanych dotąd dla samochodów spalinowych, Porsche Taycan 4 Black Edition nie musi już nikogo przekonywać, że szybkie auto na prąd ma sens, a Audi RS 5 Limousine pokazuje, że zamiast obsesyjnego odchudzania można postawić na inżynierię. Jest też bardziej rodzinny Hyundai Santa Fe, hybrydowa Toyota RAV4 oraz Audi A5 Avant e-hybrid.



Na koniec robi się mroczniej. Wracamy do Silent Hill w Townfall, sprawdzamy, co zostało z Metal Gear Solid po kolejnej podróży przez historię serii, a w The Blood of Dawnwalker dostajemy zaledwie 30 dni na uratowanie rodziny. Do tego Control Resonant, Marvel's Wolverine, nowa Onimusha i kilka kolejnych powodów, żeby jesienne wieczory spędzić zdecydowanie bliżej ekranu niż okna.

Koniec prawa Moore'a

Co się naprawdę skończyło

W marcu 2026 roku, otwierając własną konferencję w San Jose, prezes Nvidii Jensen Huang powiedział ze sceny, że prawu Moore'a „skończyła się para". Intel od lat powtarza coś przeciwnego ustami Ann Kelleher, szefowej rozwoju technologii: „utrzymamy prawo Moore'a przez następną dekadę albo dłużej". Dwie firmy, od których zależy, jak będą wyglądały komputery w roku 2035, mają przeciwne zdanie w tej samej sprawie.

Obie mają rację, bo mówią o dwóch różnych rzeczach. To, co naprawdę przestało działać w połowie pierwszej dekady tego wieku, nie było prawem Moore'a. Była to reguła z 1974 roku, której nazwy nie zna prawie nikt poza branżą – i która przez trzydzieści lat dawała inżynierom wszystko za darmo.

Zacznijmy więc od tego, czego Gordon Moore nigdy nie powiedział.

Czego Moore nie powiedział

Artykuł, od którego wszystko się zaczęło, ukazał się 19 kwietnia 1965 roku w amerykańskim magazynie „Electronics", miał cztery strony i tytuł, który brzmi dziś jak instrukcja obsługi epoki: „Zwiększanie liczby elementów w układach scalonych". Moore był wtedy szefem badań w Fairchild Semiconductor. Wykres, na którym oparł całą prognozę, miał zaledwie pięć punktów pomiarowych. Ekstrapolacja tego wykresu posłużyła do sformułowania prognozy, która zasłynęła jako prawo Moore'a.

Zdanie, o które chodzi, brzmi: „Złożoność odpowiadająca najmniejszemu kosztowi jednego elementu będzie rosła mniej więcej dwukrotnie na rok". Na rok – nie co półtora roku i nie co dwa lata. Prognoza sięgała dziesięciu lat – „co najmniej dziesięciu", jak to sam zapisał: od około pięćdziesięciu elementów w układzie scalonym do sześćdziesięciu pięciu tysięcy w roku 1975.

Trzeba się przy tym zdaniu zatrzymać, bo jest w nim ukryty warunek, który w popularnych opowieściach na ogół wypada. Moore nie mówił o tym, ile elementów da się zrobić. Mówił o tym, ile ich się opłaca zrobić – przy jakiej liczbie elementów w strukturze układu scalonego koszt przypadający na jeden z nich jest najmniejszy. Prawo Moore'a jest prawem ekonomicznym, a nie fizycznym, i do tego jeszcze w tym tekście wrócimy.

Dziesięć lat później, w 1975 roku, Moore wystąpił na konferencji IEDM – International Electron Devices Meeting, dorocznym zjeździe konstruktorów przyrządów półprzewodnikowych – i sam swoją prognozę skorygował. Rozłożył dotychczasowy wzrost na trzy czynniki: większą powierzchnię kryształu, drobniejsze struktury i to, co nazwał „pomysłowością układową i przyrządową", czyli sprytniejsze projektowanie samych komórek. I stwierdził, że trzeci czynnik się wyczerpuje – że zostało w nim najwyżej cztery razy. Stąd nowe nachylenie – podane zresztą w trybie przypuszczającym i z terminem: „nowe nachylenie może pod koniec dekady odpowiadać podwojeniu co dwa lata, a nie co rok".

A wersja z osiemnastoma miesiącami? Moore wyparł się jej publicznie, z mównicy, w lutym 2003 roku, na jubileuszowej pięćdziesiątej konferencji ISSCC – International Solid-State Circuits Conference, najważniejszym zjeździe projektantów układów scalonych. Powiedział: „Ci z Państwa, którzy słyszeli prawo Moore'a cytowane jako podwojenie co osiemnaście miesięcy, proszę zauważyć, że ja nigdy nie powiedziałem osiemnaście miesięcy. Powiedziałem rok i dwa lata". I wskazał autora: „Jeden z moich kolegów z Intela, Dave House, przełożył to na wydajność procesora (...). To on powiedział osiemnaście miesięcy, nie ja".

eprasa.pl 360946405d

Reguła Dennarda z 1974 roku

Co się dzieje z tranzystorem i z układem, gdy wszystkie wymiary i napięcia zmniejszymy k razy

wielkość	czynnik skalowania
wymiary: grubość tlenku, długość i szerokość kanału	1/k
koncentracja domieszek	k
napięcie	**1/k**
prąd	1/k
pojemność	1/k
opóźnienie jednego układu	1/k
moc rozpraszana w jednym układzie	$1/k^2$
gęstość mocy na jednostkę powierzchni	**1**

Ostatni wiersz jest tu najważniejszy: ciepła na milimetrze kwadratowym wydzielało się tyle samo, choć układów mieściło się k^2 razy więcej.

Wiersz wyróżniony to ten, który przestał obowiązywać po 2005 roku. Gdy napięcie stoi, ostatni wiersz przestaje być jedynką.

Rysunek 1. Reguła skalowania opisana przez R. H. Dennarda i współpracowników w „IEEE Journal of Solid-State Circuits", tom SC-9, numer 5, z października 1974 roku. Wyróżnienie wiersza z napięciem jest redakcyjne i odnosi się do tego, co opisano w tekście artykułu

Czyli: prawo Moore'a nigdy nie było obietnicą, że komputery będą co półtora roku dwa razy szybsze. Było rachunkiem, ile tranzystorów opłaca się upchnąć w jednym krysztale. I ten rachunek – co warto podkreślić, zanim ogłosimy czyjąkolwiek śmierć – wychodzi do dziś. Nvidia sprzedaje układ, w którym jest 208 miliardów tranzystorów – z zastrzeżeniem, że fizycznie są to dwie kostki w jednej obudowie, a nie jeden kryształ.

Co naprawdę przestało działać

Rzecz, która przestała działać, mieści się w regule skalowania Dennarda i jest opisana w artykule sześciu badaczy z ośrodka IBM-a imienia Thomasa Watsona, ogłoszonym w październiku 1974 roku w „IEEE Journal of Solid-State Circuits". Tytuł jest zniechęcająco techniczny – „Projektowanie tranzystorów polowych MOS (metal-tlenek-półprzewodnik, od angielskiego metal-oxide-semiconductor) wykonanych metodą implantacji jonowej, o bardzo małych wymiarach fizycznych" – ale w środku jest tabela, która wyjaśnia całe przyszłe trzydziestolecie.

Tabela mówi tak. Zmniejszmy wszystkie wymiary tranzystora k razy: grubość tlenku pod bramką, długość i szerokość kanału. Jednocześnie zmniejszmy k razy napięcie zasilania, a koncentrację domieszek zwiększmy k razy. Wtedy prąd zmaleje k razy, pojemność zmaleje k razy, opóźnienie jednego tranzystora zmaleje k razy, a moc rozpraszana w jednym tranzystorze zmaleje k razy k, czyli k kwadrat razy.

I teraz ostatni wiersz, ten, dla którego warto było to wszystko liczyć. Skoro na tej samej powierzchni mieści się k kwadrat razy więcej tranzystorów, a każdy z nich rozprasza k kwadrat razy mniej mocy, to gęstość mocy – moc

eprasa.pl 360946405d

przypadająca na milimetr kwadratowy – nie zmienia się wcale. Autorzy zapisali to wprost: problem chłodzenia pozostaje zasadniczo taki sam, nawet jeśli w krysztale umieści się znacznie więcej tranzystorów.

To jest cały złoty wiek w jednym rachunku: mniejsze znaczyło jednocześnie szybsze, liczniejsze i nie cieplejsze. Nic za nic – a właściwie wszystko za nic. Przez trzydzieści lat konstruktor dostawał co dwa lata dwa razy więcej tranzystorów, szybszych, w tej samej kopercie cieplnej, i nie musiał w zamian oddać niczego.

W tym samym artykule z 1974 roku jest jednak zdanie, które brzmi jak ostrzeżenie zostawione na później: projektując przyrządy do pracy w temperaturze pokojowej i wyższej, trzeba przyjąć do wiadomości, że zachowanie podprogowe tranzystora nie skaluje się tak, jak byśmy chcieli. Autorzy wiedzieli od początku, że jeden element ich układanki nie daje się zmniejszać razem z resztą. Ten właśnie element – napięcie zasilania – po trzydziestu latach położył całą regułę.

Dlaczego napięcie się zatrzymało

Rzecz w tym, że żeby obniżyć napięcie zasilania, trzeba najpierw obniżyć napięcie progowe tranzystora – to, powyżej którego kanał przewodzi już na dobre, a prąd rośnie wprost z nadwyżką napięcia bramki nad progiem. Inaczej tranzystor nie otworzy się dostatecznie mocno i przestanie być szybki, a po to, żeby był szybki, cała ta zabawa się odbywa.

Tylko że tranzystor zatkany nie jest zatkany całkowicie. Płynie przez niego prąd podprogowy, a ten rośnie wykładniczo, gdy napięcie progowe maleje. O tym, jak szybko, decyduje wielkość zwana nachyleniem podprogowym, i tu zaczyna się fizyka, przed którą nie ma ucieczki: w temperaturze pokojowej nachylenie nie może być lepsze niż mniej więcej sześćdziesiąt miliwoltów na dekadę prądu. Obniżenie progu o sto dwadzieścia miliwoltów to – przy nachyleniu granicznym, czyli sześćdziesięciu miliwoltach na dekadę – stokrotny wzrost prądu upływu.

W pewnym momencie upływ zjada cały zysk z niższego napięcia i napięcie zasilania nie da się dalej zmniejszać. Stanęło w okolicach jednego wolta. A kiedy z tabeli Dennarda wypada wiersz z napięciem, razem z nim wypada ostatni wiersz: gęstość mocy przestaje być stała i zaczyna rosnąć.

Widać to w danych bez żadnych teorii. Częstotliwość taktowania procesorów rosła wykładniczo od czasów Intela 4004 z 1971 roku, a potem, jak to ujęli Thomas Theis z Columbii i Philip Wong ze Stanforda w czasopiśmie IEEE w 2017 roku, „wyszła na płaskowyż między 2003 a 2005 rokiem i stoi od tego czasu". Baza ponad stu pięćdziesięciu procesorów zebrana na Uniwersytecie Stanforda pokazuje to samo od innej strony: dopóki produkowano w technologii z wymiarem charakterystycznym powyżej 0,6 mikrometra, napięcie zasilania stało na pięciu woltach i z wymiarem nie malało wcale; od 0,6 mikrometra

Skąd się bierze sześćdziesiąt miliwoltów na dekadę

Prąd płynący przez zatkany tranzystor to prąd nośników, które mają dość energii cieplnej, żeby przeskoczyć barierę potencjału w kanale. Obsadzenie stanów powyżej bariery opisuje rozkład Boltzmanna, więc prąd zależy od napięcia bramki wykładniczo.

Nachylenie podprogowe definiuje się jako napięcie potrzebne do dziesięciokrotnej zmiany prądu. Z rozkładu Boltzmanna wychodzi, że jest ono równe kT podzielone przez ładunek elementarny, pomnożone przez logarytm naturalny z dziesięciu (czyli przez 2,303) i jeszcze przez współczynnik mówiący, jak wiernie napięcie bramki przenosi się na potencjał powierzchniowy kanału. Ten współczynnik nie może być mniejszy od jedności – bramka nie wysteruje kanału lepiej niż jeden do jednego – i stąd bierze się granica: samo kT na ładunek razy 2,303.

Liczby: w temperaturze 25 stopni Celsjusza kT dzielone przez ładunek elementarny wynosi 25,7 miliwolta, więc granica to 59,2 miliwolta na dekadę. Stąd obiegowe „sześćdziesiąt".

Dwie rzeczy warto z tego zapamiętać. Po pierwsze, samej granicy nie przesunie żadna technologia: ani lepsza litografia, ani lepszy dielektryk bramki, ani czystszy krzem, bo nie bierze się ona z techniki, tylko ze statystyki cieplnej nośników. Technika decyduje natomiast o czym innym: jak blisko do tej granicy udaje się podejść. Rzeczywiste tranzystory mają nachylenia gorsze od sześćdziesięciu miliwoltów i cały wysiłek przy przejściu od tranzystora płaskiego do pionowego polega na zbliżaniu się do tej wartości. Po drugie, granica rośnie z temperaturą: w 125 stopniach Celsjusza wynosi już 79 miliwoltów na dekadę. Układ pracujący pod maską samochodu ma więc jeszcze mniej miejsca na obniżanie napięcia niż ten na biurku.

eprasa.pl 360946405d

do technologii 130 nanometrów malało mniej więcej jak pierwiastek z wymiaru charakterystycznego, a od 0,13 mikrometra wyraźnie zwolniło.

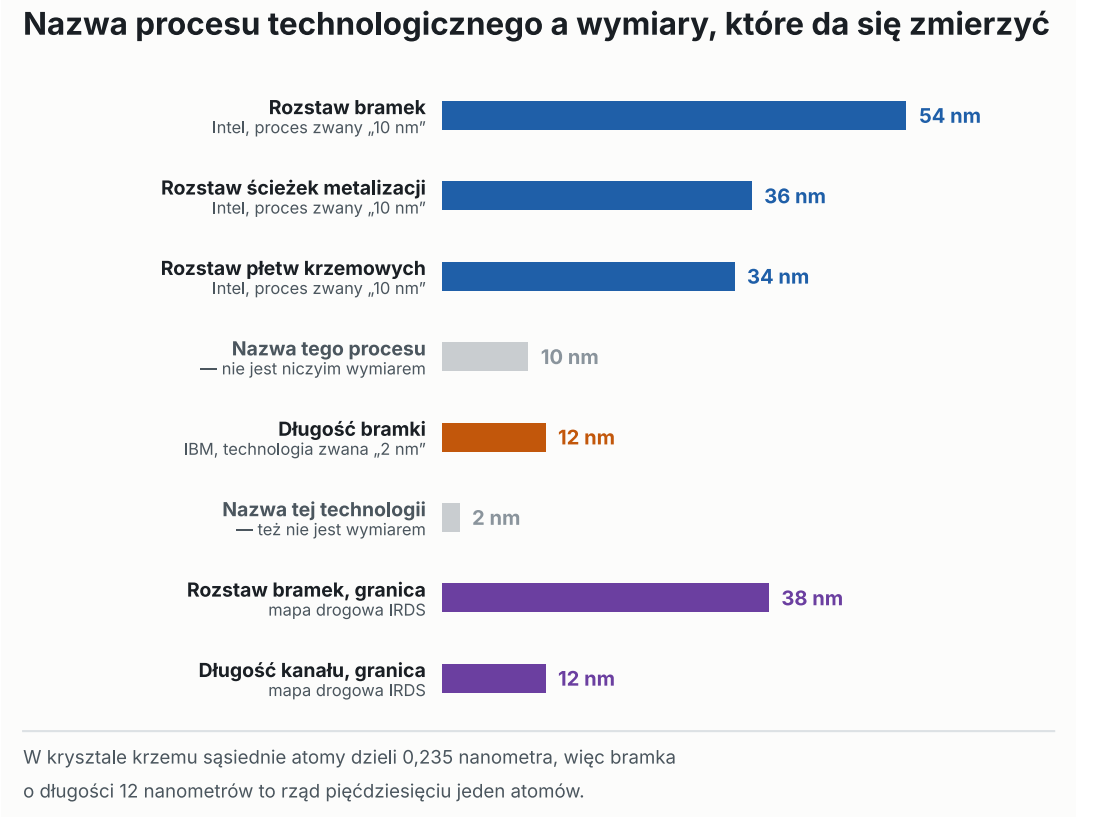
Ciemny krzem

Branża zareagowała na to zatrzymanie tak, jak umiała: od około 2005 roku, skoro nie można taktować szybciej, postawmy obok siebie więcej rdzeni. Ale i to ma granicę, i policzono ją dość wcześnie. W 2011 roku na konferencji ISCA – International Symposium on Computer Architecture – pięciu autorów ogłosiło pracę pod tytułem „Ciemny krzem i koniec skalowania wielordzeniowego". Wynik z jej streszczenia brzmi: „Już przy technologii 22 nanometry (czyli za rok) 21 procent powierzchni układu o ustalonym rozmiarze musi być wyłączone, a przy technologii 8 nanometrów liczba ta rośnie powyżej 50 procent".

Obie liczby są wynikiem modelu, a nie pomiaru na krzemie, a „8 nanometrów" to umowna nazwa procesu technologicznego z ówczesnej mapy drogowej ITRS – International Technology Roadmap for Semiconductors, poprzedniczki dzisiejszej mapy IRDS – a nie nazwa handlowa jakiegokolwiek istniejącego procesu. Ciemny krzem to właśnie ta część układu, która jest zrobiona, ale nie może być jednocześnie zasilona, bo budżet cieplny na to nie pozwala. Układ jest cały, ale pracuje tylko kawałkami.

Nazwy, które przestały być wymiarami

Tu dochodzimy do rzeczy, w którą trudno uwierzyć komuś spoza branży. W układzie nazywanym siedmionanometrowym nie ma żadnych fizycznych elementów o wymiarach siedem nanometrów. W technologii nazywanej dwunanometrową nie ma niczego o wymiarze dwóch nanometrów.



Rysunek 2. Wymiary podane przez producentów zestawione z nazwami technologii. Wymiary Intela – za wystąpieniem K. Mistry'ego na firmowym dniu technologii i produkcji w 2017 roku oraz za pracą C. Autha i innych na IEDM 2017. Długość bramki IBM-a – za artykułem w „IEEE Spectrum" z 6 maja 2021. Granice – za rozdziałem „More Moore" mapy drogowej IRDS – International Roadmap for Devices and Systems

eprasa.pl 360946405d

Intel jako jedyny z wielkich producentów podawał swoje wymiary fizyczne – na przykład dla procesu technologicznego, który nazywał dziesięcionanometrowym: rozstaw bramek 54 nanometry, najmniejszy rozstaw ścieżek metalizacji 36 nanometrów, rozstaw płetw krzemowych 34 nanometry. Dla swoich nowszych technologii nie podał już żadnej z tych liczb. IBM, ogłaszając w 2021 roku technologię nazwaną dwunanometrową, ujawnił jeden wymiar krytyczny – długość bramki tranzystora, 12 nanometrów, sześć razy więcej, niż mówi nazwa – oraz szerokości warstw krzemowych, od 15 do 70 nanometrów.

TSMC i Samsung nie podają dla swoich najnowszych technologii ani długości bramki, ani rozstawu bramek, ani rozstawu ścieżek metalizacji. Liczby, które krążą, są szacunkami analityków z zewnątrz – w fachowej relacji z pracy TSMC nazwano je wprost „zgadywankami".

Co ciekawsze, środowisko inżynierskie samo z tych nazw zrezygnowało. Mapa drogowa IRDS – International Roadmap for Devices and Systems, czyli zbiorowa prognoza rozwoju przyrządów i systemów prowadzona pod patronatem IEEE – przyznaje wprost, że „nie ma jeszcze zgody co do nazewnictwa procesów technologicznych między różnymi odlewniami krzemu ani producentami wytwarzającymi na własne potrzeby", i opisuje dziś procesy technologiczne trójką rzeczywistych liczb: rozstawem bramek, najgęstszym rozstawem ścieżek metalizacji i liczbą warstw tranzystorów.

Ta sama mapa drogowa podaje, gdzie to się zatrzyma, i warto to zestawienie zapamiętać. Rozstaw bramek wysyci się na poziomie około 38 nanometrów – bo trzeba zostawić jakieś 14 nanometrów na kontakt do tranzystora. Długość kanału wysyci się w okolicach 12 nanometrów – liczbowo tyle samo, ile ma bramka w technologii IBM-a, o której była mowa wyżej, choć to dwie różne wielkości i zbieżność jest przypadkowa – nie dlatego, że litografia nie potrafi zrobić mniej, tylko dlatego, że przy krótszym kanale bramka traci kontrolę elektrostatyczną nad przepływem nośników. W krysztale krzemu sąsiednie atomy dzieli 0,235 nanometra, więc owe 12 nanometrów to rząd pięćdziesięciu jeden atomów. Tyle zostało.

Co dalej, po pierwsze: tranzystor przestał być płaski

Pierwszą odpowiedzią na utratę kontroli elektrostatycznej nad kanałem było otoczenie go bramką z większej liczby stron. W tranzystorze płaskim bramka leży nad kanałem i panuje nad nim z góry. W 2011 roku Intel ogłosił technologię dwudziestodwunanometrową z tranzystorem, w którym kanał jest pionową płetwą krzemu, a bramka obejmuje ją z trzech stron. Dziś taki tranzystor nazywa się FinFET, od angielskiego fin, czyli właśnie płetwa.

Kolejny krok to tranzystor, w którym bramka otacza kanał w całości – po angielsku gate-all-around, bramka dookoła. Kanałem jest wtedy nie pionowa płetwa, lecz kilka ułożonych jeden nad drugim poziomych arkuszy krzemu o grubości kilku nanometrów – i to je Intel nazywa wstążkami. Samsung ruszył z produkcją wstępną takich układów w 2022 roku, TSMC weszło z nimi do produkcji seryjnej w ostatnim kwartale 2025 roku, a Intel ruszył z własną taką technologią w 2025 i w lipcu 2026 potwierdził, że produkcja jest już wielkoseryjna – przy okazji przenosząc zasilanie na spodnią stronę płytki, żeby nie zabierało miejsca połączeniom sygnałowym.

Jak wczesna to faza, widać po jednej liczbie: w drugim kwartale 2026 roku najnowocześniejsza technologia TSMC dawała tej firmie trzy procent przychodu ze sprzedaży płytek. Mapa drogowa IRDS przewiduje, że nanowarstwy wystarczą mniej więcej do 2031 roku, potem trzeba będzie układać tranzystor n na tranzystorze p, a po 2035 roku „nie ma już miejsca na skalowanie geometrii dwuwymiarowej".

Co dalej, po drugie: paradoks nowego światła

Najdrobniejsze warstwy dzisiejszych układów rysuje się światłem o długości fali 13,5 nanometra, z zakresu skrajnego nadfioletu – po angielsku extreme ultraviolet, stąd skrót EUV; pozostałe warstwy nadal powstają w świetle o długości 193 nanometrów. Zdolność rozdzielcza jest proporcjonalna do ilorazu długości fali i apertury numerycznej obiektywu, więc kolejny krok polegał na zwiększeniu apertury z 0,33 do 0,55. W jednej ekspozycji nowe maszyny rysują struktury około 1,7 raza mniejsze: producent podaje dla nich wymiar krytyczny 8 nanometrów, wobec 13 nanometrów na maszynach z aperturą 0,33.

Płaci się za to dwa razy. Głębia ostrości maleje z kwadratem apertury, więc kurczy się margines błędu. A optyka takiego obiektywu

eprasa.pl 360946405d

pomniejsza obraz maski czterokrotnie w jednym kierunku i ośmiokrotnie w drugim, przez co naświetlane pole jest o połowę mniejsze niż w maszynach poprzedniej generacji.

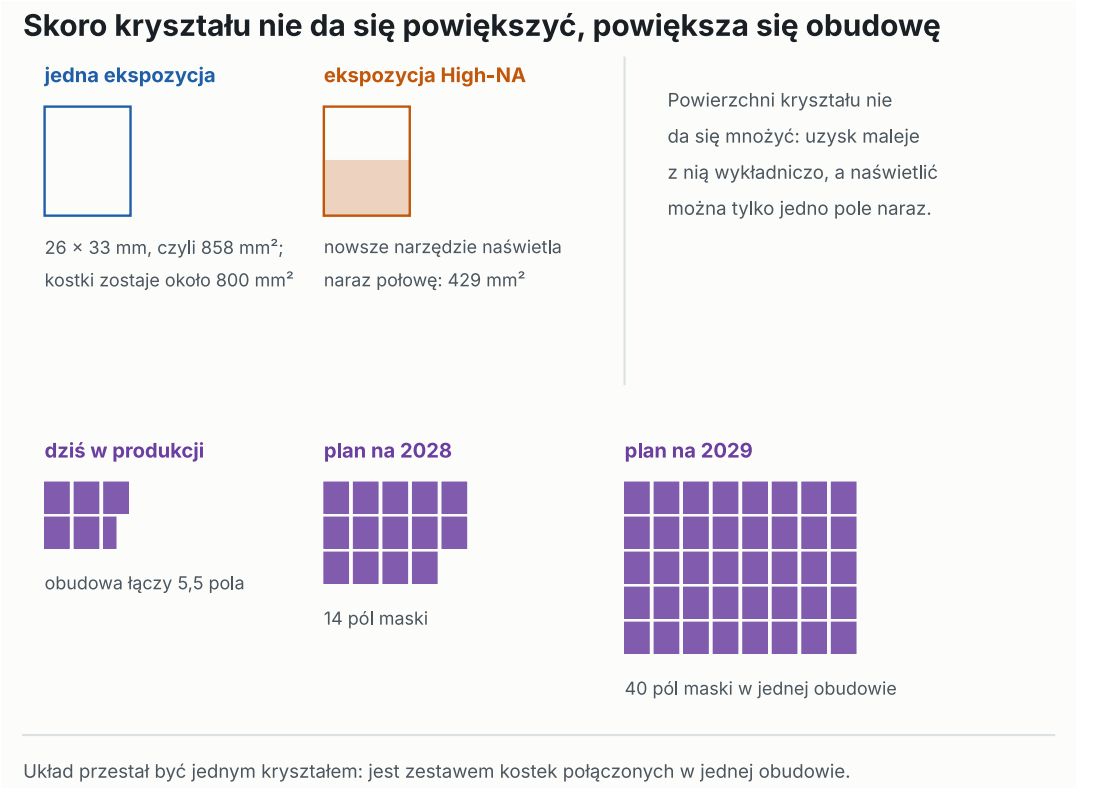
I tu jest paradoks wart zapamiętania: najnowocześniejszy skaner litograficzny świata naświetla za jednym razem obszar dwukrotnie mniejszy niż jego poprzednik. 15 lipca 2026 roku firma ASML (holenderska firma – światowy monopolista w wytwarzaniu maszyn do litografii EUV) ogłosiła pierwsze zastosowanie takiej maszyny w produkcji wielkoseryjnej – na wybranych warstwach jednego procesu Intela, kwalifikowanych równolegle na maszynach starszego typu.

Co dalej, po trzecie: układ przestał być jednym kryształem

Skoro tranzystorów ma być więcej, a gęstość rośnie wolniej, to naturalnym pomysłem jest większy kryształ. Nie da się, i to z dwóch powodów naraz.

Powód pierwszy jest statystyczny: w najprostszym modelu, w którym defekty rozkładają się na płytce zupełnie przypadkowo, uzysk – czyli odsetek sprawnych kostek – maleje z powierzchnią wykładniczo. Podwojenie powierzchni nie podwaja odsetka braków, lecz obniża do kwadratu sam uzysk: z kostek, z których sprawna była połowa, sprawna zostaje jedna czwarta. Modele bliższe praktyce, od modelu B. T. Murphy'ego z 1964 roku poczynając, dają spadek łagodniejszy, bo defekty się grupują, ale kierunek jest ten sam. Powód drugi jest optyczny: skaner z aperturą 0,33, na którym powstaje dziś przeważająca część warstw, naświetla jednorazowo pole 26 na 33 milimetry, czyli 858 milimetrów kwadratowych, z czego po odjęciu ścieżek cięcia i marginesów zostaje jako kostka około 800.

Rozwiązanie, które się przyjęło, jest proste do opowiedzenia i trudne do zrobienia: układ przestaje być jednym kryształem.



Rysunek 3. Pole jednej ekspozycji i obudowy łączące wiele takich pól, schematycznie. Wymiary pola – za prezentacją ASML i Zeissa z warsztatów litografii EUV w Kioto w 2023 roku. Około 800 milimetrów kwadratowych użytecznej kostki – za artykułem M. Liu i H.-S. P. Wonga w „IEEE Spectrum" z 28 marca 2024. Liczby pól w obudowie – za komunikatem TSMC z sympozjum technologicznego z kwietnia 2026 roku

eprasa.pl 360946405d

AMD wypuściło w 2017 roku procesor serwerowy złożony z czterech jednakowych kostek, a w kolejnych generacjach poszło dalej: osiem kostek z rdzeniami wykonanych w procesie siedmionanometrowym otacza jedną kostkę wejścia-wyjścia wykonaną w procesie czternastonanometrowym. Dlaczego w gorszym? Bo pola kontaktowe i układy analogowe nie dają się skalować, więc nie ma po co płacić za nie jak za najdroższy proces.

Dalej jest już tylko kwestia skali. Dziś produkcyjna obudowa TSMC mieści 5,5 pola maski; plan na 2028 rok to czternaście pól, a na 2029 – powyżej czternastu. Czterdzieści pól ma dać dopiero inna technologia: zapowiedziany na 2029 rok montaż na całej płytce. Kostki łączy się polami miedzianymi o rozstawie liczonym w mikrometrach, od sześciu do dziewięciu, a w laboratoriach schodzi się poniżej pół mikrometra, łącząc miedź z miedzią bez żadnego lutu. Osobne kostki pamięci układa się w stosy: pamięć HBM, czyli High Bandwidth Memory, pamięć o dużej przepustowości, w wersji czwartej weszła do produkcji wielkoseryjnej na początku 2026 roku, a firma Micron podaje dla swojego dwunastowarstwowego stosu ponad 2,8 terabajta na sekundę – 2,3 raza więcej niż w poprzedniej generacji przy tej samej pojemności i wysokości stosu.

Warto przy okazji wiedzieć, jak czytać dzisiejsze liczby tranzystorów. Układ Nvidii z 208 miliardami tranzystorów to fizycznie dwie kostki, każda na granicy pola maski, połączone łączem o przepustowości 10 terabajtów na sekundę i opisywane przez producenta jako „jeden, zintegrowany procesor graficzny". Następna generacja ma 336 miliardów – też w dwóch kostkach.

Co dalej, po czwarte: zamiast szybszego – wyspecjalizowany

Ostatnia odpowiedź jest najmniej widoczna, a daje największe liczby. Skoro nie można mieć układu uniwersalnego i szybszego, trzeba mieć układ, który robi jedną rzecz i robi ją wyjątkowo tanio energetycznie.

Google opisało swój układ do obliczeń sieci neuronowych na konferencji ISCA w 2017 roku i podało liczby, których w literaturze nikt nie zakwestionował: w przeliczeniu na wat cały serwer z tym układem był od 17 do 34 razy wydajniejszy od serwera z procesorem ogólnego przeznaczenia – procesorem Intel Xeon z rodziny Haswell, mierzonym w tym samym ośrodku obliczeniowym. Licząc przyrostowo, czyli bez narzutu reszty serwera – od 41 do 83 razy.

Ale najważniejsze zdanie padło sześć lat później, przy czwartej wersji tego układu. Autorzy napisali, że wydajność na wat poprawiła się wobec poprzedniej wersji 2,7 raza, i rozbili tę poprawę na czynniki: „około 40 procent poprawy wydajności na wat pochodziło z technologii, a reszta z ulepszeń projektowych". To jest, w jednym zdaniu, cała treść „co dalej". Darmowe skalowanie zastąpiono projektowaniem – i projektowanie daje dziś więcej niż krzem.

Więc co się skończyło

Nie liczba tranzystorów – ta rośnie. Nie gęstość – ta też rośnie, tylko wolniej i w trzech wymiarach zamiast w dwóch. Skończyły się trzy inne rzeczy, i to one są prawdziwą treścią zdania „koniec prawa Moore'a".

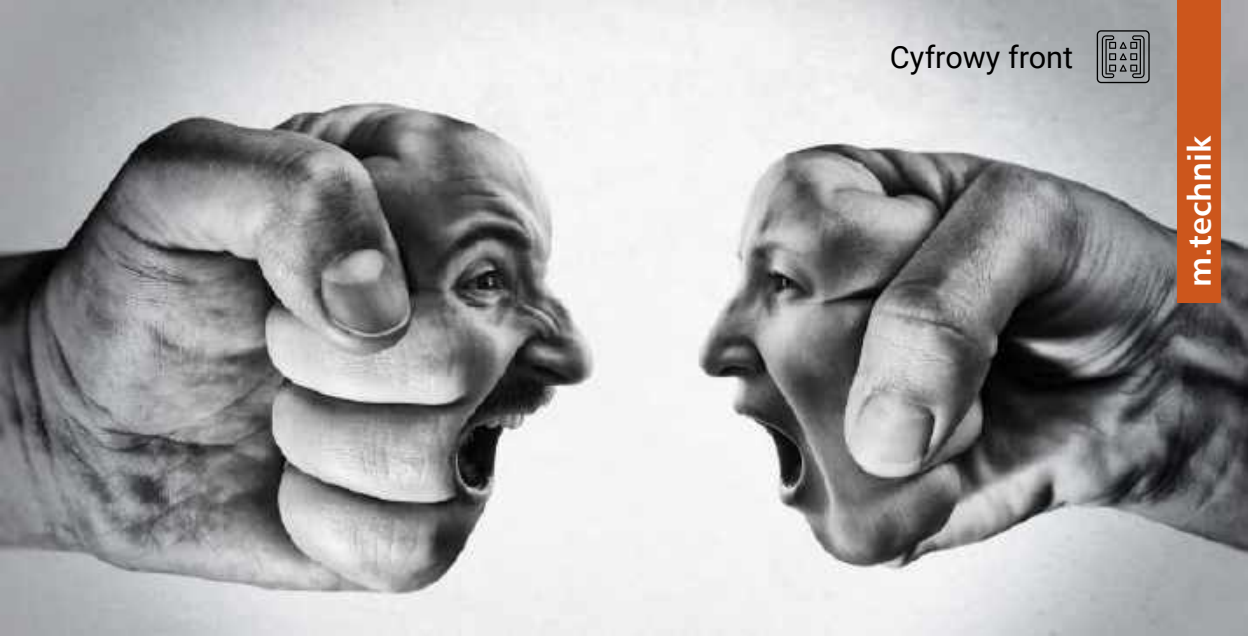
Skończyła się darmowość: do połowy pierwszej dekady tego wieku zmniejszanie nie kosztowało nic, bo gęstość mocy pozostawała stała, a dziś każdy krok trzeba opłacić ciepłem, pieniędzmi albo powierzchnią. I skończyła się szczerość nazw: liczba w nazwie procesu technologicznego nie jest już realnym wymiarem charakterystycznym.

Najlepiej ujęli to w 2024 roku Mark Liu, przewodniczący rady TSMC, i Philip Wong, główny naukowiec tej firmy, w jednym artykule: „Doszliśmy do końca tunelu" – a zaraz dalej: „Składamy teraz wiele kostek w ściśle zintegrowany, gęsto połączony system", z prognozą, że w ciągu dekady powstanie w ten sposób układ z ponad bilionem tranzystorów. Proponują przy tym inną miarę postępu niż liczba tranzystorów: iloczyn sprawności energetycznej i wydajności, który – jak piszą – rósł mniej więcej trzykrotnie co dwa lata przez piętnaście lat poprzedzających ich artykuł.

Ostatnie słowo niech jednak należy do Moore'a. Na tej samej konferencji w 2003 roku, na której wyparł się osiemnastu miesięcy, powiedział dwa zdania, które nadają się na morał lepiej niż cokolwiek innego: „Żadna wielkość fizyczna nie może zmieniać się wykładniczo w nieskończoność". A do sali pełnej inżynierów powiedział jeszcze: „Waszym zadaniem jest opóźnianie nieskończoności". ■

Wiesław Marciniak

eprasa.pl 360946405d



Nie o pornografię tu chodzi

Siódmego października w Ostrołęce rannych zostało dziewięć osób. Dzień później w szkole podstawowej w Leszczydole-Nowinach zginęła trzydziestosiedmioletnia pracownica placówki. W Sierpcu zatrzymano siedemnastolatka podejrzanego o przygotowywanie ataku.

Nie będę opisywał tych zdarzeń szczegółowo. Szczegółowe relacjonowanie ataków w szkołach jest, zdaniem badaczy zajmujących się tym od dziesięcioleci, jednym z czynników sprzyjających kolejnym aktom przemocy. Zjawisko ma nawet nazwę – efekt Wertera, od powieści Goethego, po której przeszła przez Europę fala naśladowczych samobójstw. Psycholodzy wypowiadający się o październikowych wydarzeniach zwracają uwagę, że mechanizm naśladowania może dotyczyć także agresji.

Minister spraw wewnętrznych powiedział po drugim zdarzeniu, że młodzi sprawcy mogli inspirować się internetowym wyzwaniem rozsyłanym w sieci. Zaznaczam od razu to, co powinien zaznaczyć każdy, kto to cytuje: jest to hipoteza śledczych, a nie ustalenie. Przyczyn takich czynów jest zawsze wiele i żaden rzetelny psycholog nie wskaże jednej.

Zwróciłbym jednak uwagę na coś innego, co w tej wypowiedzi jest najbardziej niepokojące. Nie na to, czy hipoteza się potwierdzi. Na to, że zabrzmiała wiarygodnie dla wszystkich – dla ministra, dla dziennikarzy, dla rodziców, dla nauczycieli. Nikt nie powiedział: „to brzmi absurdalnie". Doszliśmy do punktu, w którym zdanie „nastolatki naśladują to, co zobaczyły w internecie, i robi się z tego wyzwanie" jest w Polsce zdaniem oczywistym. Jeszcze piętnaście lat temu takie wyjaśnienie wymagałoby długiego uzasadnienia.

I to jest właściwy temat tego felietonu.

Rzecz w tym, że polski ustawodawca zajmuje się od dwóch lat problemem łatwiejszym, a nie tym, który właśnie zrobił się nie do zniesienia. Łatwiejszy jest dostęp dzieci do pornografii: pole do zaznaczenia z napisem „mam ukończone osiemnaście lat" nie jest zabezpieczeniem, da się

eprasa.pl 360946405d

to naprawić technicznie i da się o tym napisać ustawę. Trudniejszy jest wpływ, jaki na wychowanie dzieci wywiera sposób, w jaki spędzają one dzień – i na to ustawy się nie pisze, bo nie wiadomo, co w niej zakazać.

Skoro już o przepisach: w styczniu prezydent zawetował ustawę wdrażającą unijny akt o usługach cyfrowych, wskazując na niewystarczające gwarancje wolności słowa, nieprecyzyjny zakres kompetencji administracji przy blokowaniu treści oraz brak kontroli sądowej i procedur odwoławczych. Kancelaria Prezydenta podkreśliła, że weto nie oznacza sprzeciwu wobec bezpieczeństwa dzieci w sieci, i zadeklarowała gotowość do analizy nowych rozwiązań. Ministerstwo Cyfryzacji przygotowało kolejne projekty. Osobną ścieżką idzie ustawa o ochronie małoletnich przed treściami pornograficznymi, która trafiła do Sejmu w czerwcu jako druk numer 2697 i opiera weryfikację wieku na europejskim portfelu tożsamości cyfrowej w aplikacji mObywatel.

Ale na tym kończę część polityczną, bo nie o nią tu chodzi, i wracam do dzieci.

Uzasadnienie jednego z poselskich projektów podaje liczbę, nad którą warto się zatrzymać: sześćdziesiąt sześć procent młodych ludzi doświadcza cyberprzemocy ze strony rówieśników. Osiemdziesiąt pięć procent rodziców uważa, że ich dzieci nie są w sieci bezpieczne. W sondażu SW Research dla „Rzeczpospolitej", na panelu ośmiuset dorosłych internautów, zakazu mediów społecznościowych dla dzieci poniżej szesnastego roku życia chce 64,3 procent badanych.

Ta ostatnia liczba jest ciekawsza, niż się wydaje. Zakaz czegokolwiek rzadko ma w Polsce dwie trzecie poparcia. Mamy więc społeczeństwo, które w tej jednej sprawie jest zgodne jak mało w której – i rodziców, którzy sami kupili dzieciom te telefony, sami je skonfigurowali i sami co wieczór przegrywają o nie wojnę. Poparcie dla zakazu jest w gruncie rzeczy prośbą o pomoc: zróbcie coś, czego my w pojedynkę zrobić nie umiemy, bo dziecko bez telefonu zostaje wykluczone z klasy, a żaden rodzic nie chce skazać na to własnego dziecka.

Teza, że smartfon i media społecznościowe wywołują wzrost agresji wśród nastolatków, nie jest dowiedziona i w nauce trwa o nią spór. Jedna strona wskazuje, że wskaźniki zdrowia psychicznego młodzieży w krajach zachodnich zaczęły się psuć mniej więcej wtedy, gdy telefon z ekranem dotykowym stał się powszechny, i że zbieżność jest zbyt dokładna, żeby była przypadkiem. Druga odpowiada, że korelacja to nie jest wystarczający dowód, bo w tym samym czasie zmieniło się też wiele innych rzeczy i że podobne panikowanie towarzyszyło kolejno powieści, kinu, komiksowi, telewizji i grom. Ta druga strona ma za sobą mocny argument historyczny i trudno go nie uznać.

Mimo to są trzy rzeczy, co do których sporu praktycznie nie ma, i to na nich bym się opierał.

Pierwsza to sen. Urządzenie świecące w łóżku skraca sen i opóźnia zasypianie, a niewyspany nastolatek gorzej panuje nad emocjami. To nie jest hipoteza socjologiczna, tylko fizjologia, mierzalna i wielokrotnie potwierdzona.

Druga to uwaga. Praca umysłowa wymagająca skupienia przez czterdzieści minut jest czymś, czego trzeba się nauczyć, a nauka ta polega na wielokrotnym znoszeniu nudy. Urządzenie zaprojektowane tak, by nuda nigdy nie trwała dłużej niż trzy sekundy, odbiera okazje do tego treningu. Nie psuje mózgu – po prostu zabiera sytuacje, w których ta umiejętność powstawała.

Trzecia jest najważniejsza i o niej mówi się najrzadziej, bo brzmi nietechnicznie. Dawny konflikt rówieśniczy miał trzy właściwości: odbywał się



eprasa.pl 360946405d



twarzą w twarz, miał widownię kilkunastu osób i kończył się wraz z dzwonkiem. Dziś żadna z tych trzech właściwości nie obowiązuje. Konflikt toczy się przez ekran, czyli bez spotkania twarz w twarz, co usuwa jedyny hamulec, jaki natura dała człowiekowi. Widownię ma nieograniczoną. I nie kończy się nigdy – dziecko wraca z nim do domu, bierze go do łóżka i budzi się z nim rano. Nie trzeba udowadniać żadnej teorii, żeby zrozumieć, że to jest inna sytuacja niż bójka na przerwie.

Do tego dochodzi fakt, którego nie da się przemilczeć, a który nie jest spiskiem: te usługi są projektowane tak, żeby przykuwały uwagę. Nie przez złośliwość, tylko dlatego, że ich przychód jest wprost proporcjonalny do czasu, który poświęca im użytkownik. Inżynier optymalizuje to, co mu kazano mierzyć. Kazano mierzyć zaangażowanie – i zostało zoptymalizowane, metodami ulepszanymi przez piętnaście lat na setkach milionów ludzi. Dorosły z trudem wychodzi z tej pętli. Trzynastolatek, którego zdolność hamowania impulsów dopiero się kształtuje, nie ma z nią szans i nie jest to jego wina.

Co z tego wynika dla ustawodawcy? Mniej, niż byśmy chcieli. Zakaz mediów społecznościowych poniżej piętnastego roku życia, taki jak uchwalony w lipcu przez francuski parlament, rozwiąże część problemu i stworzy nowy: dzieci dobrze sobie radzą z omijaniem zakazów, a weryfikacja wieku wymaga sprawdzania tożsamości wszystkich, czyli także dorosłych. Zakaz telefonów na lekcjach jest natomiast pomysłem skromnym, tanim i skutecznym, a szkoły, które go wprowadziły, opisują tę samą zmianę: na korytarzach znowu jest hałas, bo dzieci rozmawiają. Warto zacząć od rzeczy, które działają.

Ale prawdziwej odpowiedzi w ustawie nie będzie i obiecywanie jej byłoby oszukiwaniem Czytelnika. Nie ma przepisu, który przywróci dziecku popołudnie bez nadzoru, nudę na przystanku, kłótnię rozstrzygniętą na podwórku i wieczór, w którym nikt go nie ocenia. Te rzeczy nie zostały zakazane. Zostały wyparte przez coś wygodniejszego, a wyparły je nie dzieci, tylko my – bo telefon w ręku dziecka daje rodzicowi dwie godziny spokoju, a nic innego ich nie daje.

Dlatego pytanie, które z tej jesieni zostaje, nie brzmi „czego zakazać dzieciom". Brzmi: z czego gotowi są zrezygnować dorośli. Z własnego telefonu przy stole? Z wygody, jaką daje dziecko zajęte ekranem? Z przekonania, że wychowanie da się zlecić na zewnątrz – szkole, aplikacji albo ustawie? To jest pytanie nieprzyjemne i dlatego w debacie publicznej prawie nie pada.

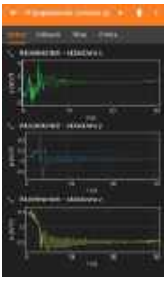
Prawo jest potrzebne i powinno powstać. Tylko nie udawajmy, że kiedy je uchwalimy, zrobiliśmy to, co trzeba było zrobić.

De Coder

eprasa.pl 360946405d

Mobilne aplikacje. Test aplikacji

Sześć programów na różne potrzeby: fizyka mierzona czujnikami telefonu, niebo rozpoznawane przez skierowanie ekranu w górę, pogoda prosto ze służby państwowej, Wikipedia działająca bez zasięgu, klucze do logowania, których nie stracimy przy zmianie telefonu, i lupa dla oczu, które już nie te



phyphox

Telefon jako przyrząd pomiarowy

phyphox udostępnia surowe wskazania wszystkich czujników, które ma telefon: akcelerometru, żyroskopu, magnetometru, barometru, mikrofonu i czujnika światła. Nie podaje ich jako ciekawostki, tylko w postaci gotowych eksperymentów z wykresem przebiegu w czasie i eksportem wyników do pliku CSV albo arkusza. Jest tam pomiar okresu wahadła, przyspieszenia w windzie, prędkości dźwięku metodą echa, natężenia pola magnetycznego i kilkadziesiąt innych. Program powstał w Instytucie Fizyki Politechniki Nadreńsko-Westfalskiej w Akwizgranie i jest używany w dydaktyce uniwersyteckiej. Własne doświadczenie można zdefiniować w edytorze na stronie projektu, a potem wczytać do telefonu. Jest też funkcja, której nie ma nigdzie indziej: pomiar da się uruchomić i obserwować z przeglądarki na innym urządzeniu w tej samej sieci, więc telefon może leżeć przyklejony do wahadła, a wyniki widać na komputerze. Ograniczenie wynika z natury sprzętu. Dokładność zależy od klasy czujników w konkretnym telefonie, a częstotliwość próbkowania narzuca system operacyjny – wyniki są dobre jakościowo, ale nie są pomiarem metrologicznym i tak trzeba je traktować. Część opisów eksperymentów nie ma polskiego tłumaczenia.

Producent: Politechnika Nadreńsko-Westfalska w Akwizgranie, II Instytut Fizyki
Platformy: Android, iOS; edytor eksperymentów i podgląd pomiaru w przeglądarce
Cena: bezpłatna, bez płatnych dodatków
Możliwości: 9,5/10
Łatwość obsługi: 8,0/10
Ocena ogólna: 9,0/10



Sky Map

Co właśnie świeci nad dachem

Sky Map czyta wskazania żyroskopu, magnetometru i odbiornika położenia, a potem pokazuje na ekranie to, na co w danej chwili skierowany jest telefon: gwiazdy, planety, gwiazdozbiory i jaśniejsze obiekty mgławicowe. Działa też w trybie ręcznym, bez czujników, kiedy chcemy po prostu obejrzeć niebo nad inną częścią świata albo nad tym samym miejscem za pół roku.
Wyszukiwarka prowadzi do wskazanego obiektu strzałką: wpisujemy „Saturn” i obracamy telefonem, dopóki strzałka nie zniknie. To prosty pomysł, który sprawdza się przy pokazywaniu nieba komuś, kto patrzy przez lornetkę pierwszy raz. Program wywodzi się z dawnego Google Sky Map, oddanego później społeczności; obecnie utrzymuje go niezależna grupa i ostatnią aktualizację wydała w sierpniu 2026 roku.
Katalog obiektów jest skromniejszy niż w programach komercyjnych i do planowania obserwacji teleskopowych się nie nadaje – to narzędzie do rozpoznawania nieba gołym okiem. Celność wskazania zależy od kalibracji magnetometru, którą wykonuje się, zataczając telefonem ósemkę w powietrzu. Wydawca deklaruje w sklepie zbieranie danych o aktywności w programie, choć bez przekazywania ich dalej.

Producent: Sky Map Devs
Platformy: Android
Cena: bezpłatna
Możliwości: 7,5/10
Łatwość obsługi: 9,5/10
Ocena ogólna: 8,5/10



IMGW Meteo

Pogoda bez pośrednika

To aplikacja Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego, czyli instytucji, która w Polsce pełni służbę hydrologiczno-meteorologiczną. Pokazuje te same dane, na których opierają się oficjalne ostrzeżenia: radar opadów, obraz satelitarny, wyładowania atmosferyczne, pomiary ze stacji synoptycznych i warstwę zanieczyszczeń powietrza. Ostrzeżenia meteorologiczne i hydrologiczne mają trzy stopnie i przychodzą jako powiadomienia.
Najciekawsza funkcja to śledzenie burzy: program podaje odległość komórki burzowej, kierunek jej przemieszczania i szacowany czas dotarcia nad nasze miejsce. Jest też prognoza widoczności zorzy polarnej z indeksem Kp – w ostatnich latach w Polsce przydatna częściej, niż można by przypuszczać. Program nie ma reklam i nie przekazuje danych innym podmiotom.
Zasięg obejmuje wyłącznie obszar Polski, co jest oczywistą konsekwencją tego, czyja to służba. Radar i wyładowania wymagają stałego połączenia z siecią; poza zasięgiem zobaczymy tylko ostatni pobrany odczyt. Uwaga przy pobieraniu: w sklepach są dwa programy tego instytutu, starszy i nowy – ten opisywany to „IMGW Meteo”.

Producent: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
Platformy: Android, iOS
Cena: bezpłatna, bez reklam
Możliwości: 9,0/10
Łatwość obsługi: 9,0/10
Ocena ogólna: 9,0/10

eprasa.pl 360946405d



Kiwix

Wikipedia na karcie pamięci

Kiwix czyta skompresowane archiwa w formacie ZIM i pozwala przeglądać offline całe serwisy wiedzy: Wikipedię, Wikisłownik, Projekt Gutenberg, zbiory podręczników, archiwa serwisów z pytaniami i odpowiedziami. Wyszukiwanie jest pełnotekstowe i działa na pobranych zbiorach tak samo jak w sieci. Archiwa wybiera się z katalogu w programie – od kilkusetmegabajtowych wyborów artykułów po pełne wydania.

Projekt prowadzi niekomercyjne stowarzyszenie z Lozanny, blisko związane z ruchem Wikimedia. Powstał z myślą o miejscach, gdzie łącza nie ma albo jest ono odcinane: szkołach w krajach rozwijających się, statkach, placówkach badawczych. Jest też wersja serwerowa, która udostępnia pobrane zbiory w sieci lokalnej przez przeglądarkę – jeden komputer albo mały komputerek jednopłytkowy może obsłużyć całą klasę bez dostępu do internetu.

Trzeba liczyć się z miejscem: pełna Wikipedia z grafiką to kilkadziesiąt gigabajtów, a wersja bez obrazów i tak kilka. Raz pobrane archiwum się nie odświeża – żeby mieć nowsze hasła, pobiera się je na nowo. Interfejs mobilny jest surowy i widać po nim, że najważniejsza była treść, nie wygląd.

Producent: Kiwix Association, Lozanna
Platformy: Android, iOS, Windows, macOS, Linux
Cena: bezpłatna, bez reklam, organizacja nie nastawiona na zysk
Możliwości: 9,0/10
Łatwość obsługi: 7,5/10
Ocena ogólna: 8,5/10



Aegis Authenticator

Drugi składnik logowania, który przeżyje zmianę telefonu

Aegis generuje jednorazowe kody do logowania dwuskładnikowego w standardach TOTP i HOTP, czyli tych samych, których używają banki, poczta elektroniczna i serwisy społecznościowe. Klucze trzyma w zaszyfrowanym sejfie na urządzeniu, otwieranym hasłem albo odciskiem palca. Wpisy dodaje się skanem kodu QR, ręcznie albo importem z innego programu.

Powód, dla którego warto go znać, jest praktyczny. Rozwiązania wbudowane przez producentów telefonów zwykle nie pozwalają wyeksportować kluczy – przy zmianie sprzętu albo po utracie telefonu trzeba odzyskiwać dostęp do każdego serwisu z osobna, co potrafi zająć tygodnie. Aegis robi kopię zapasową, szyfrowaną i zapisaną tam, gdzie wskażemy, więc przeniesienie wszystkiego na nowy telefon trwa minutę.

Ceną za niezależność jest własna odpowiedzialność: nie ma synchronizacji w chmurze, więc o kopię zapasową trzeba zadbać samemu, a zaszyfrowany plik bez hasła jest bezużyteczny. Program istnieje tylko na Androida – posiadacze iPhone'a muszą sięgnąć po inne rozwiązanie o podobnych założeniach.

Producent: Beem Development
Platformy: Android
Cena: bezpłatna, otwarte źródła
Możliwości: 8,5/10
Łatwość obsługi: 9,0/10
Ocena ogólna: 9,0/10



Magnifica

Lupa, która zawsze jest przy sobie

Magnifica zamienia kamerę w lupę elektroniczną. Powiększenie zmienia się gestem albo skokowo, a najważniejsza funkcja to zamrożenie kadru: raz zrobione zdjęcie w pełnej rozdzielczości można spokojnie oglądać i przesuwać, nie trzymając już telefonu nad tekstem drżącą ręką. Przesuwanie działa również przyciskami głośności, co pomaga, gdy jedna ręka jest zajęta.

Jest sześć filtrów barwnych liczonych na bieżąco: negatyw, skala szarości, wysoki kontrast i warianty dla osób z zaburzeniami rozróżniania barw. Na ciemnym tekście negatyw bywa czytelniejszy niż samo powiększenie. Doświetlić można diodą, a przy kamerze przedniej – całym ekranem. Program nie ma konta, reklam ani żadnych uprawnień poza dostępem do kamery.

Przy dużym powiększeniu widać szum matrycy i drżenie ręki, co ratuje właśnie zamrożenie kadru. Granicą jest zdolność telefonu do ustawienia ostrości z bliska – tanie aparaty nie zogniskują obrazu z dwóch centymetrów. Program istnieje tylko na Androida.

Producent: projekt społecznościowy, autor podpisany jako juanitobananas
Platformy: Android
Cena: bezpłatna, otwarte źródła
Możliwości: 7,5/10
Łatwość obsługi: 9,5/10
Ocena ogólna: 8,5/10

eprasa.pl 360946405d

Zasadzka

Nikt nie wiedział, kiedy pojawili się na Ziemi, ale przed ich przybyciem świat wyglądał podobno zupełnie inaczej. Strzępy opowieści o minionych czasach krążyły w mroku i wilgoci podziemnych tuneli, wyryte obrazy na zapleśniałych ścianach przypominały dawne historie, lecz tylko nielicznym. Większość ludzi nie miała pojęcia o ich istnieniu, bo starannie utrzymywali to w tajemnicy.

Venire wiedziała. Pamiętała dobrze ten dzień, gdy strzeżony przez lata sekret został i dla niej ujawniony. O poranku po Vayle'a przybyły maszyny spoza miasta. Nie byli to Strażnicy ani Obrońcy, tylko zupełnie inny rodzaj robotów, a jednak brama została dla nich otwarta. Kiedy go zabierali, wyszeptał cyfry. Wtedy jeszcze nie rozumiała, co znaczą, ale po raz pierwszy poczuła niepokój. Cały dzień stała nieruchomo, wpatrując się – z widocznym na jej drobnej twarzy napięciem – w niewielkie, okrągłe okno, oddzielające ją od zewnętrznego świata grubą, pancerną szybą. Okno, którego nie dało się otworzyć, bo tak zadecydował dawno temu ktoś odpowiedzialny za budowę całego mieszkalnego kompleksu.

Wieczorem dostała nagłe wezwanie na badania. Gdy weszła zdezorientowana do wskazanego pomieszczenia, od razu wiedziała, że coś jest nie tak. W rogu stał nieznajomy mężczyzna. Nie wyglądał jak inni ludzie z miasta. Miał brudną, ogorzałą twarz i niski głos, nie budzący sympatii.

– Jestem Vance – powiedział szorstko. Podał ci numer, prawda? Współrzędne i datę.

Później nakazał, aby poszła za nim. Biegli ciemnym korytarzem, a potem w dół po schodach, aż w końcu brakowało jej sił, by iść dalej. Podparta na jego ramieniu, nie zważając na ból w kolanach, schodziła jednak nadal, jęcząc cicho – co za każdym razem wywoływało ponury grymas na twarzy mężczyzny. Nagle poczuła wilgoć i smród. Długo podróżowali podziemnymi tunelami, wdychając odór nieczystości miasta, aż wreszcie dotarli do pozostałych. Do świadomych. I tak dołączyła do ruchu oporu. Pamiętała, jak wycinali jej z głowy niewielkie, świecące płytki i ból, jaki temu towarzyszył. Nigdy wcześniej nie czuła czegoś tak nieprzyjemnego. W ogóle niewiele dawniej czuła, choć tam w mieście na górze była dużo szczęśliwsza.

– Zbliża się ten dzień – odezwał się Vance pewnego poranka. – Tylko wtedy możemy ich uratować. – Popatrzył wymownie na Venire. – Nie tylko twojego Vayle'a i innych pojmanych. Możemy uratować całą planetę.

– Co się stanie, gdy odejdą? – spojrzała nieśmiało w jego ciemne oczy.

– Będziemy wolni. Przejmiemy miasta i zaprowadzimy porządek, o jakim zawsze marzyliśmy. Zbyt długo robili z nami to, co chcieli.

– Jeśli go zamordujemy, przyślą nowego Namiestnika. Znowu opanują Ziemię.

– Są coraz słabsi. Z wieku na wiek ich władza gaśnie, miasta podupadają, nie mają już nad wszystkim kontroli. Spójrz tutaj – skierował spojrzenie na ścianę. Wytarty szkic systemu wielkich aglomeracji był ledwo widoczny pod zgrzybiałą powłoką, jaka narastała przez ostatnie lata. – Tak kiedyś wyglądało ich Imperium. Wszystko przemija, ich władza tutaj również dobiega końca. – Sięgnął po cienkie, przezroczyste płytki. Venire zauważyła, że pojawiły się na nich błyszczące znaki. – To zapiski sprzed kilku wieków, starannie kopiowane i przekazywane kolejnym pokoleniom. Tak słabi jak dzisiaj nigdy nie byli. A teraz nadszedł czas, by odzyskać to, co nam się należy.

– Czy dawniej było lepiej, zanim przybyli?

Spojrzała na przeciwległą ścianę z wyrytymi obrazami – z resztkami wspomnień, przechowywanymi przez setki lat na powierzchniach gnijących tuneli. Wykrzywione twarze i rozpacz bijąca z oczu.

eprasa.pl 360946405d

– Niektórzy tylko na taki los zasługują – odparł Vance, podążając za jej spojrzeniem. – Ale nas to nie dotyczy. Wiemy, co jest właściwe i będziemy postępować sprawiedliwie. Pomożesz chyba uratować Vayle'a, prawda?

– Od kiedy wiedział? – Zmarszczyła groźnie brwi. – Nie rozumiem, dlaczego nic mi wcześniej nie mówił.

– Uznał, że nie byłaś gotowa.

– Mimo to przekazał mi współrzędne i datę.

– Liczył, że mu pomożesz. –Vance wpatrywał się w nią uważnie. – Dzięki tym informacjom możemy teraz przygotować zasadzkę. Vayle pokładał w tobie dużą nadzieję, nie możesz go zawieść. Nie chcę wiedzieć, co z nim zrobili. Jeśli cokolwiek im zdradzi, mogą nas tutaj odnaleźć i stracimy wszystko, co budowaliśmy przez wieki. Dla człowieka nie pozostanie już żadna nadzieja – spojrzał jej prosto w oczy. – Czasu nie mamy dużo. To nasza jedyna szansa.

– A jeśli zawsze tutaj byli? – Venire znowu zmarszczyła brwi. – A te obrazki – spojrzała wymownie na sufit z wielką, dumnie wyprężoną sylwetką mężczyzny w mundurze – to tylko fantazja poprzednich pokoleń? Wiara w to, że możemy być wolni, zwykła ułuda, która teraz doprowadzi do naszej zguby.

– To, co teraz czujesz, jest ułudą? Chcesz, żeby wsadzili ci to z powrotem? – zapytał, wskazując palcem swoje czoło. Blada blizna była nadal widoczna.

– Wcześniej było lepiej.

– Gdy przejmiemy miasta, nastanie czas panowania człowieka. Odbudujemy pradawną potęgę, przywrócimy stary porządek i sięgniemy po to, co jest nam pisane od pokoleń. A ty będziesz mogła robić wszystko, na co tylko masz ochotę.

– Przecież głos w pokoju zawsze pytał, na co mam ochotę. Mówił, że chce mojego dobra.

– I co mu odpowiadałaś? Nie wiedziałaś nic o świecie. Byłaś jak zwierzę zamknięte w klatce. Dostałaś wybór, ale nie miałaś z czego wybierać.

– Mówił, że chce mojego dobra – powtórzyła z naciskiem. – A roboty zawsze wykonywały wszystkie polecenia. Pragnęli naszego szczęścia. Tylko tego.

– Wkładając nam to do głowy? – Znowu wskazał ręką swoje brudne czoło.

– Może według nich to było dla nas najlepsze.

– W takim razie się mylili. A teraz przyszła kolej na nas. Wzniesiemy jeszcze potężniejsze miasta, udoskonalimy technologie, ujarzmimy najbardziej niedostępne tereny naszej planety, może nawet – zrobił pauzę – wydostaniemy się poza Ziemię. Nasi przodkowie docierali podobno po najdalsze granice Układu Słonecznego– stwierdził z zadumą. – Gdy Namiestnik Ziemi przybędzie do miasta, będziemy gotowi – powiedział stanowczo. – Potem przejmiemy jego system łączności i nadamy sygnał innym, którzy już czekają, by opanować pozostałe miasta na całym kontynencie.

– Jak on wygląda? – zapytała cicho.

– Nikt tego dokładnie nie wie. Ale podobno w ogóle nie przypomina człowieka – powiedział tajemniczo. – Szykujcie się na jutro. Mamy dużo przygotowań – zarządził, spoglądając na pozostałych.

***

Poranek był chłodny. Delikatna mgła unosiła się w powietrzu. Czołgali się powoli wzdłuż muru – kilkanaście osób brudnych i mokrych, bo wcześniej musieli przeciskać się do góry wąskimi kanałami. Venire nie czuła się dobrze. Myśl o Vayle'u nie dawała jej spokoju. Chciała go zobaczyć, poczuć jego oddech we włosach i usłyszeć ten charakterystyczny, niski, lekko zachrypiały głos. Ręce miała całe zakrwawione, podobnie kolana, bo szmaty, którymi je owinęła, najwidoczniej były zbyt cienkie. Uczucie bólu to nie było nic przyjemnego. Dawniej go też odczuwała, ale w inny sposób. Pojawiał się ostry niczym ostrzeżenie, ale szybko znikał i nie męczył jej godzinami, przypominając niepotrzebnie o obrażeniach, o których już doskonale wiedziała. Nie wszystko, co opowiadał Vance o pradawnym świecie, jej się podobało. Miała też wątpliwości, czy Vayle naprawdę w to wierzył. Nigdy jej przecież o tym nie mówił.

– Pospiesz się – wyszeptał ponuro Vance i mocno szarpnął ją za rękę.

Jęknęła cicho i spojrzała na jego ciemną twarz ze złością. Już od wczorajszego wieczoru był nerwowy i niepotrzebnie podnosił na wszystkich głos.

– Zostań tutaj. – Wskazał jej fragment muru. – Stąd masz dobry widok na całą okolicę.

eprasa.pl 360946405d

Venire wytarła zakrwawione dłonie w spodnie i pokiwała głową. Spojrzała na małe, brązowe stworzenie na czterech łapach, które kręciło się w pobliżu. Spoglądało ufnie i wesoło na nich, merdając długim ogonem.

– Jeśli zobaczysz w pobliżu Zwiadowców, musisz dać nam sygnał – dodał.

Wdrapała się powoli na mur i spojrzała na budynek. Wielki przeszklony taras prowadził wprost na most łączący budynek z sąsiednim. Venire wiedziała, że pod mostem rozstawione są ładunki, a Namiestnik będzie się po nim przemieszczał do sali obrad na posiedzenie.

Dała znak ręką, że wszystko w porządku.

Nagle w oknach coś się poruszyło. Zobaczyła niewyraźną, obszerną sylwetkę, przemierzającą pomieszczenie. Nie miała wątpliwości, że musi być co najmniej trzykrotnie wyższa od człowieka. Spojrzała z niepokojem w stronę Vance'a i nerwowym gestem kazała mu się pospieszyć.

Gdy już odchodził z pozostałymi, brązowe stworzenie podbiegło do niego, żeby się przywitać. Starał się je odgonić, ale nie dawało za wygraną i próbowało wejść mu między nogi. Zdenerwowany kopnął zwierzę z całej siły, przeklinając pod nosem. Z brązowego pyska pociekła krew. Venire aż zadrżała zaskoczona. Stworzenie chwilę stało bez ruchu, jakby nie dowierzało w to, co się stało, po czym skomląc cicho, usiadło pod murem i wpatrywało się w nią uważnie.

W oknach znowu coś się poruszyło. Po chwili wielkie, galaretowate cielsko wylazło na taras. Ciemnozielona skóra mieniła się w odblaskach słońca, długie, czarne wypustki falowały nad niekształtną głową, którą ciężko było nawet wyodrębnić z pozostałej części opuchniętego tułowia. Namiestnik przesuwał się powoli, sunąc po powierzchni tarasu jak po lodzie, bo nie widziała niczego przypominającego nogi. Spojrzała z niepokojem w miejsce, gdzie zniknął Vance. Miała nadzieję, że zdążył dotrzeć na wyznaczoną pozycję.

Zerknęła jeszcze raz na małe stworzenie skulone pod murem. Z pyska sączyła się cienka struga krwi, a smutne oczy wciąż wpatrywały się w nią uważnie.

Namiestnik przemieszczał się w stronę mostu. Wypustki nad jego głową falowały spokojnie w rytm ruchów potężnego ciała. Venire miała wrażenie, że powietrze wokół niego mieni się delikatnie najróżniejszymi kolorami. Słyszała ciche dudnienie, a gdy wiatr mocniej zawiał od strony mostu, poczuła nieprzyjemny zapach. Tak silny i odrażający, że aż musiała przysłonić twarz dłonią. Znacznie gorszy niż odór podziemnych kanałów, w których żyła przez ostatnie dni.

Zeskoczyła z muru i skuliła się przerażona, podobnie jak stworzenie, które siedziało obok. Dłonie drżały jej tak, że nie mogła nad nimi zapanować. W brzuchu poczuła nieprzyjemne uczucie, którego nigdy wcześniej nie doświadczyła. Vance powiedział jej, że coś takiego może się dziać, i że to nazywa się strach.

Zwierzę pod murem nie przestawało się w nią wpatrywać. Spojrzała na swoje dłonie całe we krwi i na czerwoną plamę pod brązowym pyskiem. Przesunęła się powoli w stronę zwierzęcia, ale przerażone cofnęło się. Nigdy jeszcze nie widziała, żeby jakiekolwiek stworzenie uciekało przed człowiekiem. Poczuła się jeszcze gorzej. Ból w brzuchu stawał się nie do zniesienia. Zwierzę obok znowu zaczęło żałośnie skomleć tak, że aż zasłoniła uszy, żeby tego nie słyszeć. Przypomniała sobie przerażające obrazy w podziemiach i słowa Vance'a, że niektórzy tylko na taki los zasługują.

Zacisnęła dłonie z całej siły i gwałtownie wstała. Chciała się wspiąć na mur, ale całe ciało odmawiało jej posłuszeństwa. Zsunęła się na sam dół, po czym niezdarnie próbowała wejść znowu. Bała się, że zaraz usłyszy wybuch i będzie już za późno. Zaczęła krzyczeć. Dłonie zostawiały czerwone smugi na betonowej powierzchni, gdy po raz drugi się zsuwała. W panice krzyczała jeszcze głośniej, podejmując trzecią próbę. W końcu wdrapała się na szczyt muru.

Galaretowate cielsko stało nieruchomo tuż przed mostem. Wypustki nad jego głową kręciły się i plątały ze sobą jak szalone. Powietrze pulsowało i świeciło jeszcze intensywniej wszystkimi kolorami, a odór niesiony wiatrem od strony mostu był tak silny, że prawie zemdlała.

– To pułapka – krzyknęła zachrypiałym głosem.

Poczuła ukłucie w szyję. Ogarnęła ją ciemność.

***

Zobaczyła go na szczycie wielkiej platformy. Tuż przed nią znajdowała się gruba, przezroczysta ściana. Nie czuła już nieprzyjemnego zapachu, a ciało Namiestnika miało zupełnie inny kolor

eprasa.pl 360946405d


SEKTOR
7
POZIOM
-4

niż tam na tarasie. Naprężone wypustki nad jego głową w ogóle się nie poruszały. Brązowe stworzenie, które siedziało razem z nią pod murem, kręciło się teraz obok platformy z opatrunkiem na pysku. Nie wydawało się już przerażone.

– Dziękuję. – Wielkie litery wyświetliły się na gładkiej ścianie.

– Kim jesteś? – zapytała, patrząc na świecące litery.

– Ważniejsze jest to, kim wy jesteście. – Pojawił się kolejny napis. – A jesteście gatunkiem, któremu nie mogliśmy zaufać. Ograniczyliśmy waszą ekspansję do jednego gwiezdnego układu. Oczywiście nawet wy zasługujecie na szczęście. Każda żywa istota na nie zasługuje. Świat dał wszystkim tylko cierpienie, ale nigdy nie mogliśmy się z tym pogodzić. Staraliśmy się dać wam to, co najlepsze, choć nie zawsze nam wychodziło. Nie było łatwo was zrozumieć. Ale pomimo naszych usilnych starań nie doceniliście tego.

– Nie mogliśmy tego docenić, bo nigdy się nam nie przedstawiliście.

– Tak było dla was lepiej.

– Nie daliście nam żadnego wyboru.

– Jeśli go nie ma, lepiej o tym nie wiedzieć.

– Więc jak mogliśmy to docenić, gdy w końcu się dowiedzieliśmy?

– Wcześniej nigdy nie narzekałaś na swoje życie. A teraz dostaniesz je z powrotem.

– Razem z tym? – Dotknęła czoła i czerwonej blizny.

– Zrobimy dla ciebie ten jeden raz wyjątek, ale będziesz tego żałować.

– A co z pozostałymi? Co z Vaylem?

– Zostaną tutaj. Nie możemy ich teraz wypuścić. Muszą się jeszcze wiele nauczyć.

Przezroczysta ściana zaczęła ciemnieć, aż Venire nie widziała, co jest po drugiej stronie. Jęknęła cicho.

– Idź już. – Litery na ciemnej powierzchni były ledwo widoczne.

– Czekaj – wymamrotała, ale na ścianie nic więcej się nie pojawiło.

Poczuła zimny, stalowy dotyk. Robot popchnął ją w stronę wyjścia.

Idąc korytarzem, usłyszała głos. Wiedziała doskonale, do kogo należy. Spojrzała na zakratowaną przestrzeń pod sufitem. Musieli trzymać go tuż za ścianą. Chciała się zatrzymać, ale robot pchnął ją mocno do przodu.

– Dlaczego to zrobiłaś? – Znowu usłyszała jego głos.

Poczuła w gardle nieprzyjemne uczucie i silny ból w brzuchu. Przyspieszyła kroku. Tak bardzo za nim tęskniła.

– Zdradziłaś nas. Zdradziłaś nas wszystkich. – Słowa Vayle'a dudniły jej w głowie.

Zaczęła biec. Chciała razem z nim wrócić do domu, ale nie była już pewna, kim on jest, ani kim ona jest.

Robot zatrzymał się przy wyjściu, a Venire wybiegła z budynku i długo szła przed siebie bez celu, pośród huku i gwaru miasta. W końcu zmęczona usiadła na zakurzonym poboczu. Oparła głowę o kolana. Powoli docierało do niej, co zrobiła. Nigdy jeszcze nie czuła się tak źle. Nie chciała, żeby tak się to wszystko skończyło. Gdyby mogła, cofnęłaby czas, ale raz podjętej decyzji nie dało się już odwrócić.

Nagle jej dłoń dotknęło coś wilgotnego. Podniosła głowę i zobaczyła przed sobą czarno-biały pysk, z wielkim, wiszącym jęzorem. Ciemne oczy wpatrywały się w nią z ufnością. Wyciągnęła powoli dłoń w jego stronę. Zwierzęciu nawet nie przyszło do głowy, żeby cofnąć się przed ręką człowieka.

Gdy wstała, zwierzę dalej biegło obok niej, merdając ogonem. Po chwili odskoczyło w prawo i zniknęło gdzieś w kurzu miasta, a Venire wiedziała, że już nigdy nie będzie musiała się o nie martwić. ■

Magdalena Banduła

Magdalena Banduła: Autorka debiutanckiej powieści „Ogród Osobliwości". Krakowianka od urodzenia. Z wykształcenia geodeta. Absolwentka Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Od 2017 roku związana zawodowo z branżą IT – jako programista oraz scrum master. Prywatnie właścicielka psa rasy Border Collie i miłośniczka literatury science fiction. Interesuje się m.in. historią średniowiecza, historią myśli politycznej oraz zagadnieniami związanymi z eksploracją kosmosu i rozwojem technologii. W swojej twórczości łączy wyobraźnię spekulatywną z refleksją nad granicami ludzkiego poznania, świadomości i moralności.

eprasa.pl 360946405d

Zawał i woda w kopalni rudy żelaza

3 listopada w kopalni rudy żelaza Barnes-Hecker pod Ishpeming w stanie Michigan runął strop, a za nim wdarły się do wyrobisk woda i namuł z podmokłego terenu leżącego nad kopalnią. Z dołu wyszedł o własnych siłach jeden człowiek, który wspiął się po drabinie szybu; pięćdziesięciu jeden górników zostało pod ziemią. Warstw nadległych nad polem eksploatacyjnym nie rozpoznano dostatecznie. Amerykanie zapowiadają zaostrzenie przepisów w tym względzie; przy naszym górnictwie warto się tej sprawie przyjrzeć.

Nowa kometa znaleziona na kliszy

W obserwatorium Fabra w Barcelonie astronom Josep Comas i Solà odkrył nową kometę okresową. Zdjęcie wykonano teleskopem o średnicy sześciu cali, a rachunek daje czas obiegu wokół Słońca bliski dziesięciu latom. Godzien uwagi jest sam sposób: komet nie wypatruje się już okiem przy okularze, lecz znajduje na płycie fotograficznej, porównując zdjęcia tego samego pola nieba z różnych nocy. Cierpliwość i dobra emulsja zastąpiły bystrość wzroku.

Pierwszy dźwig w porcie gdyńskim

6 listopada stanął do pracy pierwszy dźwig w porcie gdyńskim. Dotąd przeładunek odbywał się tam niemal wyłącznie rękami robotników, co przy węglu, który ma być głównym towarem wywozowym, w rachubę nie wchodzi. Przypomnijmy, że w roku ubiegłym przeszło przez Gdynię pięćdziesiąt pięć tysięcy sześćset ton ładunku – tyle, ile port dobrze wyposażony przerabia w kilka dni. Mechanizacja nabrzeży jest warunkiem, bez którego cała budowa portu pozostałaby robotą niedokończoną.

Jeden numer zamiast stu nazw

11 listopada związek stanowych zarządów drogowych zatwierdził w Stanach Zjednoczonych jednolitą numerację dróg międzystanowych. Objęto nią około stu dwudziestu dwóch tysięcy kilometrów szlaków, to jest ledwie kilka setnych całej sieci drogowej, za to najważniejszych. Dotąd każdy trakt nosił nazwę własną, nadaną przez prywatne towarzystwo, które go promowało, a znaki malowano na drzewach i płotach wedle uznania. Teraz kierowca ma jechać za numerem na tarczy – rzecz godna naśladowania wszędzie tam, gdzie ruch samochodowy przestał być rzadkością.

Czterysta kilometrów na godzinę

13 listopada w Hampton Roads w stanie Wirginia rozegrano zawody o puchar Schneidera dla wodnosamolotów. Zwyciężył Włoch Mario de Bernardi na maszynie Macchi M.39 konstrukcji Maria Castoldiego, z silnikiem Fiat AS.2 o mocy ośmiuset koni, osiągając przeciętną trzysta dziewięćdziesiąt sześć kilometrów na godzinę. Cztery dni później, 17 listopada ten sam pilot na tej samej maszynie przeleciał bazę trzykilometrową z szybkością czterystu szesnastu kilometrów na godzinę, bijąc rekord świata. Po raz pierwszy człowiek przekroczył w locie czterysta kilometrów na godzinę – i dokonał tego na pływakach, nie na kołach.

Porządek w eterze europejskim

14 listopada wszedł w życie plan genewski, opracowany przez Międzynarodowy Związek Radiofoniczny. Rozdziela on długości fal między rozgłośnie europejskie, przyjmując odstęp dziewięciu do dziesięciu kiloherców między stacjami sąsiednimi; uporządkowano blisko dziewięćdziesiąt stacji już pracujących i zostawiono miejsce dla kilkudziesięciu następnych. Wejście planu w życie odkładano dwukrotnie, brakowało bowiem dostatecznie dokładnych falomierzy wzorcowych. Bez takiej umowy eter europejski zatkałby się zakłóceniami w ciągu dwóch, trzech lat.

Pierwsza stała sieć radiofoniczna

15 listopada o godzinie ósmej wieczorem ruszyła w Stanach Zjednoczonych pierwsza stała sieć radiofoniczna – National Broadcasting Company, założona przez Radio Corporation of America. Program nadano z sali balowej hotelu Waldorf-Astoria w Nowym Jorku; trwał przeszło cztery godziny, kosztował ponad pięćdziesiąt tysięcy dolarów i szedł jednocześnie przez przeszło dwadzieścia stacji, słyszalny aż po Kansas City. Rzecz opiera się na dzierżawionych liniach telefonicznych towarzystwa Bell, które w tym samym miesiącu sprzedało własny łańcuch rozgłośni za milion dolarów. Koszty programu ma pokrywać ogłoszenie handlowe.

Dwa turystyczne samoloty do Indii

15 listopada wystartowali z Anglii T. Neville Stack i Bernard Leete, każdy własnym samolotem de Havilland Moth, zamierzając dolecieć do Indii. Nie są to maszyny rekordowe, zbudowane do jednego lotu, lecz seryjne dwupłaty klubowe, jakich w Anglii lata już kilkaset. Jeżeli próba się powiedzie, będzie to dowód, że szlaki dalekie można obsługiwać sprzętem tanim i lekkim, a nie wyłącznie wielkimi maszynami pocztowymi.

Gaz zamiast pompki

Tej jesieni norweski inżynier chemik Erik Rotheim zgłosił do opatentowania naczynie, z którego ciecz wypycha gaz sprężony, a rozpyla zawór umieszczony w ściance. Sam pomysł rozpylania gazem nie jest nowy; nowe jest połączenie szczelnego naczynia ciśnieniowego z zaworem dozującym w jednym, tanim opakowaniu, gotowym do użycia w ręku nabywcy. Wynalazca wymienia jako zastosowania lakiery, środki owadobójcze i kosmetyki. ■

eprasa.pl 360946405d

Chemiczna Nagroda Nobla, część 2

Znasz już tegorocznych zdobywców Nagród Nobla. Nazwiska laureatów z chemii zostały ogłoszone 7 października, a o znaczeniu ich dokonań dowiesz się ze styczniowego numeru „Młodego Technika". W pierwszej części artykułu przedstawiona została historia nagrody, w drugiej za to przeczytasz o wybranych ciekawostkach dotyczących laureatów, nie tylko z chemii, ale i dyscyplin naukowych powiązanych z tą dziedziną.

Po kilku latach sporów prawnych, w roku 1901 wręczono wreszcie pierwsze nagrody. Laureatem z chemii został holenderski fizykochemik **Jacobus Henricus van 't Hoff** „w uznaniu nadzwyczajnych usług, jakie wyświadczył dzięki odkryciu praw dynamiki chemicznej i ciśnienia osmotycznego w roztworach" (jak głosiła sentencja przyznania nagrody). Na listach wyróżnionych, zwłaszcza w początkowych latach, znajdziemy...

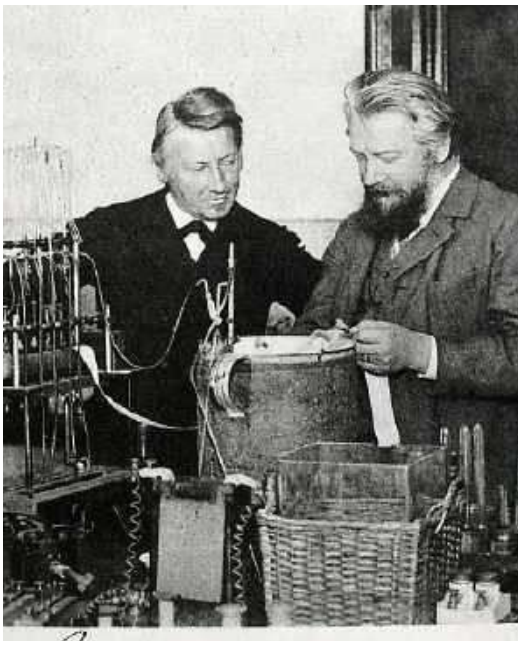
...same sławy, ...

...których nazwiska często przewijają się na kartach podręczników chemii. Wymieńmy kilkoro z nich: wspomniany wyżej van't Hoff, **Hermann Fischer** (1902, stworzył podstawy chemii węglowodanów i białek), **Svante Arrhenius** (1903, twórca teorii dysocjacji elektrolitycznej), **Ernest Rutherford** (1908, m.in. odkrywca jądra atomowego), **Wilhelm Ostwald** (1909, kataliza i szybkość reakcji), **Maria Skłodowska–Curie** (1911), **Alfred Werner** (1913, stworzył teorię budowy związków kompleksowych), **Walter Nernst** (1920, prawa termodynamiki chemicznej), **Francis Aston** (1922, odkrycie izotopów naturalnych pierwiastków), **Otto Hahn** (1944, odkrycie zjawiska rozszczepienia jądra atomowego), **Edwin McMillan** i **Glen Seaborg** (1951, synteza wielu pierwiastków transuranowych), **Linus Pauling** (1954, wyjaśnił naturę wiązania chemicznego) (**1**).

To oczywiście nie jedyne znakomitości na liście laureatów chemicznego Nobla, wielu z pozostałych jest jednak znana tylko z prac w wyspecjalizowanych gałęziach chemii, co wcale nie oznacza, że wnieśli mniejszy wkład w jej rozwój. Nazwiska znane chemikom znajdziemy również na listach laureatów pozostałych wyróżnień. W wielu przypadkach może nawet nasunąć się pytanie, ...

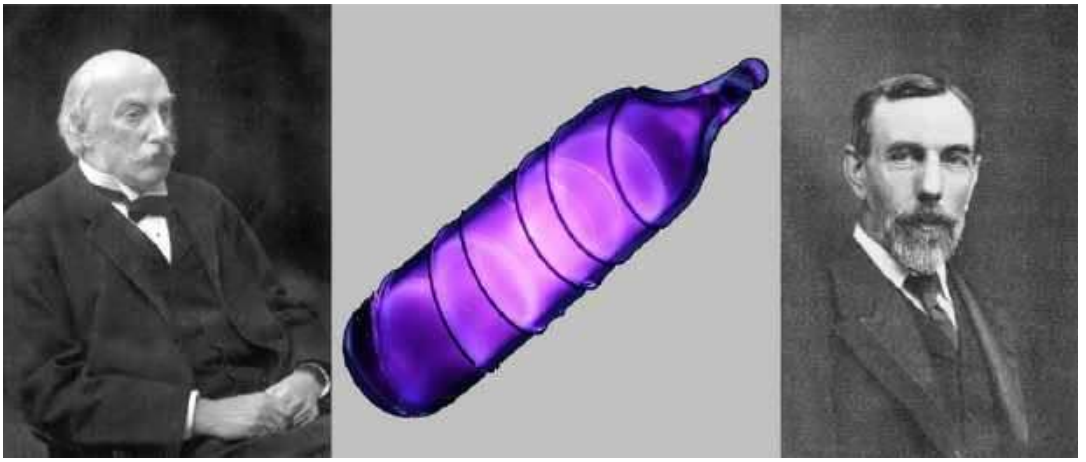
...czy ta nagroda jest z właściwej dziedziny?

Chemia interesuje się zjawiskami z pogranicza kilku dyscyplin nauki, w tym fizyki i fizjologii z medycyną. Dlatego też liczne uzasadnienia przyznania nagród „pasują" do wyróżnienia



1. Dwóch noblistów w laboratorium: po lewej pierwszy nagrodzony chemik Jacobus Henricus van 't Hoff (1901), obok Wilhelm Ostwald (1909)

eprasa.pl 360946405d



2. Odkrycie argonu (świecąca próbka w środku) przyniosło Nagrody Nobla w roku 1904 dla Johna Strutta (lorda Rayleigha, z lewej) z fizyki i dla Williama Ramseya z chemii (Argon: images-of-elements.com)

także z innej dziedziny. Wspominani wyżej Rutherford, Aston i Hahn, ale również **Fredrick Soddy** (1921, badania izotopów), **Harold Urey** (1934, odkrycie ciężkiego wodoru – deuteru), **Frédéric** i **Irène Joliot-Curie** (1935, sztuczna promieniotwórczość), **Frank Libby** (1960, metoda C-14 służąca do datowania znalezisk archeologicznych) czy też Noble z roku 2017 (mikroskopia elektronowa) i 2023 (odkrycie i synteza kropek kwantowych) – te nagrody z powodzeniem mogłyby zostać przyznane z fizyki. Biochemicy również często zdobywali chemicznego Nobla za swoje prace: nagrodzono badania nad chlorofilem, hemem (składnik hemoglobiny), witaminami, hormonami, enzymami, białkami, DNA i RNA oraz mechanizmami działania komórek organizmów żywych.

Z drugiej strony, na listach nagrodzonych fizyków oraz fizjologów także znajdziemy wyróżnienia, które mogłyby być przyznane z chemii. W roku 1904 **John Strutt** (lord **Rayleigh**) otrzymał nagrodę za m.in. odkrycie argonu. W tym samym roku chemicznego Nobla zdobył **William Ramsey**, który pracował wraz ze Struttem nad wydzieleniem tego gazu szlachetnego (**2**). **Enrico Fermi** w roku 1938 został nagrodzony za syntezę nowych pierwiastków promieniotwórczych przy pomocy niedługo wcześniej odkrytych neutronów, ale, jak się wkrótce okazało, w rzeczywistości były to produkty rozszczepienia jąder uranu. Także biochemicy otrzymywali nagrody, które mogłyby być przyznane chemikom: odkrycie insuliny, witamin, działania enzymów, kodu genetycznego i mechanizmów komórkowych. Spektakularnym przykładem jest tu medyczny Nobel z roku 1948. Otrzymał go **Paul Müller** za odkrycie działania owadobójczego **dichlorodifenylotrichloroetanu**, czyli **DDT** (sam związek był znany wcześniej). Mimo licznych kontrowersji dotyczących wpływu tego pestycydu na środowisko, nadal jest on niezastąpionym środkiem w walce z przenoszącymi malarię insektami, każdego roku ratując życie milionów ludzi (**3**).

Uzasadnienia Komitetów Noblowskich, jak widać chociażby z podanych wyżej przykładów, często powodują zdziwienie i dyskusje. Anegdota głosi, że najbardziej zaskoczonym z laureatów był Ernest Rutherford, który liczył na nagrodę z fizyki (mawiał, że *jedyną nauką jest fizyka, reszta to zbieranie znaczków*), a dostał ją z chemii. Przyznane Noble wzbudzały ...



3. Szwajcarski chemik Paul Müller, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie medycyny i fizjologii w 1948 roku, i model cząsteczki DDT

eprasa.pl 360946405d

...kontrowersje, ...

...ale nieprzyznane również. Najsławniejszym nieobecnym na liście laureatów był **Dymitr Mendelejew** (żył do roku 1907). Mimo kilkukrotnej nominacji, oficjalny powód odrzucenia jego kandydatury to długi czas, który upłynął od odkrycia prawa okresowości. Nieoficjalną przyczyną był jego osobisty konflikt z Arrheniusem, w owym czasie ważną i wpływową postacią w szwedzkiej nauce. Również i polscy chemicy byli kilka razy nominowani do Nobla, ale go nie otrzymali. Z bardziej znanych na liście laureatów nie znaleźli się m.in. **Karol Olszewski** (skroplenie tlenu i azotu), **Kazimierz Funk** (twórca nauki o witaminach) czy też **Kazimierz Fajans** (badania nad promieniotwórczością).

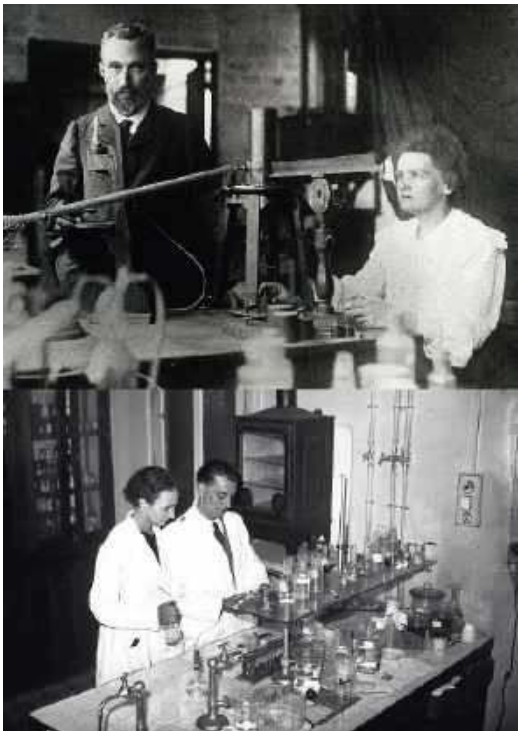
Wielu nie przypadła do gustu kolejna nagroda dla Marii Skłodowskiej-Curie za odkrycie polonu i radu oraz badania nad chemią tego drugiego pierwiastka. Argumentowano, że w roku 1903 już przyznano jej nagrodę z fizyki za podobną tematykę (wśród krytyków byli oczywiście ci, którzy liczyli na Nobla w roku 1911). Jednak wyróżnienie z fizyki dotyczyło badań nad zjawiskiem promieniotwórczości, a ponadto przy pomocy preparatów radu przygotowanych według metody naszej noblistki dokonano przełomowych odkryć w dziedzinie fizyki jądrowej.

W roku 1918 Nagrodę Nobla z chemii otrzymał **Fritz Haber** za opracowanie metody syntezy amoniaku z azotu i wodoru. Technologia ta pozwoliła m.in. na tanią produkcję nawozów sztucznych, co słusznie uważano za epokowe osiągnięcie. Jednak Haber w latach I wojny światowej prowadził niemiecki program wykorzystania gazów bojowych, który przyczynił się do śmierci i kalectwa setek tysięcy żołnierzy. Przyznana nagroda spotkała się z ostrymi protestami, ponieważ znaczna część uczonych i opinii publicznej uważała go za zbrodniarza wojennego.

Polityka zresztą wiele razy kolidowała z noblowskimi werdyktami. Najczęściej ingerencje zdarzały się w przypadku nagrody literackiej i pokojowej, ale i naukowcy również nie byli wolni od zewnętrznych nacisków. W latach 1938–39 niemieccy biochemicy **Richard Kuhn** i **Adolf Butenandt** zostali zmuszeni przez reżim hitlerowski do odmowy przyjęcia nagród (medale i dyplomy odebrali dopiero po wojnie, nie otrzymali jednak pieniędzy).

Rodzinne Noble

Rodzina Curie jest najbardziej utytułowana w historii Nagród Nobla: Maria i Pierre



4. Rodzina noblistów: u góry Maria Skłodowska-Curie i Pierre Curie, u dołu Irène i Frédéric Joliot-Curie

zdobyli „połówkę" nagrody z fizyki w roku 1903, potem Maria otrzymała samodzielne wyróżnienie z chemii w roku 1911, a następnie ich córka Irène wraz z mężem Frédérikiem Nobla z chemii w roku 1935. Razem 5 nagród. A jeśli doliczyć nagrodę pokojową z roku 1965 dla UNICEF, którą odbierała druga córka Ève z mężem, to nawet więcej (**4**).

Spojrzenie na listy laureatów również z innych dziedzin, pozwoli znaleźć na nich małżeństwa, braci, a także ojców z synami. W tym ostatnim przypadku dominują fizycy, np. William Henry Bragg z synem Williamem Lawrencem (1915, użycie promieni X do określenia struktury krystalicznej) czy też Niels Bohr (1922) i jego syn Aage (1975).

Komu Nobla, komu?

Wyścig po przyszłoroczną Nagrodę Nobla rozpoczął się już miesiąc temu. Zbieraniem kandydatur do nagrody z chemii zajmuje się **Komitet Noblowski** powołany przez Królewską Szwedzką Akademię Nauk w Sztokholmie. W jego skład wchodzi 5 wybitnych specjalistów w tej dziedzinie. We wrześniu Komitet rozesłał kilka tysięcy

eprasa.pl 360946405d



5. Omar M. Yaghi, laureat chemicznego Nobla 2025, otrzymuje nagrodę z rąk króla Szwecji Karola XVI Gustawa (© Nobel Prize Outreach. Fotografia Nanaka Adachi)

formularzy zgłoszeniowych do znanych naukowców na całym świecie, z prośbą o podanie nazwisk kandydatów do przyszłorocznej nagrody. Można typować tylko pojedyncze, aktualnie żyjące osoby wraz z uzasadnieniem ich zasług dla rozwoju chemii, nie wolno natomiast zaproponować samego siebie. Zgłoszenia są przyjmowane do końca stycznia następnego roku, zwykle wpływa ich około 300...400. Od lutego do maja Komitet analizuje podane kandydatury i konsultuje się w ich sprawie z ekspertami w danych gałęziach chemii, po czym w sierpniu sporządza końcowy raport ze swoimi propozycjami.

Teraz pałeczkę przejmuje **Królewska Szwedzka Akademia Nauk**, której wybrani członkowie dyskutują nad przedstawionymi kandydaturami i na początku października podejmują ostateczną decyzję. Werdykt jest nieodwołalny i natychmiast ogłaszany. Po dwóch miesiącach, 10 grudnia, w rocznicę śmierci Alfreda Nobla, mroki wcześnie nadchodzącego wieczoru rozświetlą światła wielkiej gali. Do gmachu Filharmonii Sztokholmskiej przybędą zaproszeni goście z całego świata, a nowo mianowani nobliści odbiorą wyróżnienia z rąk króla Szwecji (5). ■

Krzysztof Orliński

Nie tylko Nagroda Nobla

Czytelnicy „Młodego Technika" z pewnością pomyśleli o humorystycznym IgNoblu, stale obecnym na łamach działu chemicznego (o zmianach u „konkurencji" Nagrody Nobla można było przeczytać miesiąc temu), ale istnieją także inne, poważne nagrody dla chemików.



6. Awers i rewers medalu Copleya („Copley_Medal.png" by Tiginbeg is licensed under CC BY-SA 4.0.)

Wyróżnienie ufundowane przez Alfreda Nobla stanowi markę samą w sobie, nic dziwnego, że znaczące nagrody często są nazywane właśnie Noblami. Tak jest i z „polskimi Noblami", czyli nagrodami Fundacji na rzecz Nauki Polskiej przyznawanymi od 1992 roku za wybitne osiągnięcia i odkrycia naukowe.

Towarzystwa chemiczne na całym świecie także wyróżniają naukowców zasłużonych dla tej dziedziny. Największym prestiżem, porównywalnym rangą z samą Nagrodą Nobla, cieszy się medal Copleya. Nagroda przyznawana jest od 1731 roku przez brytyjskie **Royal Society of London** (Królewskie Towarzystwo Naukowe) „za wybitne osiągnięcia w dowolnej dziedzinie nauki" (jak brzmi uzasadnienie). Zazwyczaj otrzymuje ją tylko jedna osoba w danym roku, często są to również nobliści, a na liście nagrodzonych znajdziemy wielu chemików (**6**).

Nie tylko pieniądze

Nagroda Nobla to nie tylko 11 milionów koron szwedzkich (obecnie), ale także pamiątkowy medal i dyplom, do tego oczywiście sława i prestiż. Każdy z medali przedstawia podobiznę fundatora na awersie, dla chemików i fizyków na rewersie zaś znajduje się postać symbolizująca Naturę, której zasłonięte oblicze odkrywa Duch Nauki (**7**). Łacińska inskrypcja głosi, że godnie jest poprawiać ludzkie życie poprzez odkrycia. Dyplomy, unikatowe w każdym roku, są ręcznie wykonane i kaligrafowane na czerpanym papierze (**8**).



7. Awers medalu Nobla (© Nobel Prize Outreach. Fotografia Clément Morin. The Nobel Prize medal is a registered trademark of the Nobel Foundation)



8. Dyplom noblowski dla Omara M. Yaghi, jednego z laureatów nagrody z chemii w roku 2025 (© Nobel Prize Outreach. Fotografia Dan Lepp)

eprasa.pl 360946405d



Lotnictwo i kosmonautyka

SR-71 Blackbird, jeden z najszybszych samolotów w historii, stojąc na lotnisku, potrafił... przeciekać. Paliwo wydostawało się przez szczeliny w konstrukcji, które znikały dopiero podczas lotu, gdy rozgrzany przy prędkości ponad trzech machów kadłub rozszerzał się pod wpływem temperatury. Brzmi jak fuszerka, a było dokładnie odwrotnie. To był efekt świadomego projektu. I chyba trudno o lepszą zapowiedź tego, czym zajmuje się lotnictwo i kosmonautyka. Tu czasem trzeba zbudować coś, co na ziemi zachowuje się dziwnie, żeby kilka kilometrów wyżej działało idealnie.

Tryb samolotowy

Lotnictwo i kosmonautykę można studiować w Polsce w kilku miejscach, przy czym pod tą samą nazwą kryją się czasem dość różne studia. Klasyczną politechniczną wersję kierunku znajdziemy między innymi na Politechnice Warszawskiej, Rzeszowskiej i Wrocławskiej. Jest też Wojskowa Akademia Techniczna i Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie, które oprócz studiów wojskowych prowadzą również studia cywilne. W Poznaniu na pierwszym stopniu funkcjonuje obecnie kierunek lotnictwo, a lotnictwo i kosmonautyka pojawia się na drugim. Politechnika Śląska prowadzi z kolei blisko spokrewnioną inżynierię lotniczą i kosmiczną. Nie warto jednak wybierać uczelni wyłącznie po nazwie. Jeśli ktoś już dziś wie, że chce zajmować się silnikami, awioniką, konstrukcją samolotów, dronami albo marzy o pilotażu, powinien najpierw dokładnie obejrzeć program. Różnice są duże i nie sprowadzają się do tego, że w jednym mieście będzie więcej matematyki, a w drugim trochę mniej. Dobrym przykładem jest Politechnika Warszawska. Studia pierwszego stopnia trwają tam siedem semestrów, prowadzone są stacjonarnie, a aktualny program przypisuje aż 90 procent kształcenia do inżynierii mechanicznej. Pozostałe 10 procent przypada na automatykę, elektronikę, elektrotechnikę i technologie kosmiczne. Mówiąc mniej urzędowo: jest to przede wszystkim solidna inżynieria mechaniczna z lotniczym zastosowaniem, a nie pięcioletnie oglądanie samolotów. Już pierwszy semestr na PW skutecznie studzi ewentualny nadmiar romantyzmu. W planie są między innymi analiza matematyczna, algebra z geometrią, podstawy programowania, mechanika, chemia, materiałoznawstwo i grafika inżynierska. Wstęp do techniki lotniczej oczywiście również się pojawia, ale zajmuje dwa punkty ECTS. Matematyka i pozostałe przedmioty podstawowe szybko przypominają, kto tu naprawdę rządzi.

eprasa.pl 360946405d

Jeśli więc ktoś interesuje się samolotami wyłącznie dlatego, że fajnie wyglądają podczas startu, może mieć problem. Jeżeli natomiast zastanawia się, dlaczego skrzydło ma taki, a nie inny kształt, jakie siły na nie działają, z czego jest zbudowane, jak zachowa się przy przeciążeniu i jak to wszystko policzyć, robi się znacznie ciekawiej.

Pas startowy

Zanim zacznie się walczyć z aerodynamiką, trzeba oczywiście dostać się na studia. I tu trudno przedstawić jedną receptę, bo poziom konkurencji zależy od uczelni. Na Politechnice Warszawskiej w rekrutacji 2026 lotnictwo i kosmonautyka znalazło się wśród najbardziej obleganych kierunków. Jako pierwszy wybór wskazało je 634 kandydatów, a próg kwalifikacyjny wyniósł 202 punkty na 225 możliwych. Wniosek nie jest szczególnie odkrywczy: jeśli celem jest PW, rozszerzona matematyka i fizyka zdecydowanie nie powinny być przedmiotami, z którymi kandydat pozostaje w chłodnych stosunkach. W Rzeszowie sytuacja wygląda inaczej. W roku akademickim 2026/2027 przygotowano 240 miejsc na stacjonarnych studiach pierwszego stopnia. Wskaźnik rekrutacyjny uwzględnia przede wszystkim matematykę i przedmiot dodatkowy, którym może być między innymi fizyka albo odpowiedni egzamin zawodowy, a w mniejszym stopniu język obcy i polski. Sama Politechnika Rzeszowska ma przy tym jedną ogromną przewagę dla określonej grupy kandydatów, bo oferuje ścieżkę pilotażową oraz kształcenie powiązane z uprawnieniami personelu obsługi technicznej. W programie pilotażu znajduje się zintegrowane szkolenie prowadzące do ATPL(A) frozen, realizowane w toku studiów pierwszego i drugiego stopnia. I tu dochodzimy do jednego z najczęstszych nieporozumień. Lotnictwo i kosmonautyka nie oznacza automatycznie pilotażu. Po większości tych studiów zostaje się inżynierem, a nie pilotem samolotu pasażerskiego. Jeszcze lepiej pokazuje to Dęblin. Na cywilnym lotnictwie i kosmonautyce w Lotniczej Akademii Wojskowej specjalność pilotażową wybiera się dopiero po trzech semestrach. Kandydat musi wówczas posiadać PPL(A) lub PPL(H), ważne orzeczenie lotniczo-lekarskie klasy pierwszej, zaliczony bezwarunkowo odpowiedni semestr, średnią minimum 3,50 oraz odpowiednią znajomość języka angielskiego. Dopiero po przejściu kwalifikacji rozpoczyna bezpłatne szkolenie prowadzące w przypadku samolotów do CPL(A), IR(A), MEPL oraz teorii ATPL(A). Sam fakt, że człowiek dostał indeks z napisem „Lotnictwo i kosmonautyka", nie powoduje więc magicznej przemiany w kapitana Dreamlinera.

Turbulencje

Jeśli ktoś przeżył rekrutację, może się cieszyć. Przez chwilę. Pierwszy rok jest okresem, w którym uczelnia dość szybko sprawdza, czy zainteresowanie lotnictwem idzie w parze z gotowością do pracy. Na Politechnice Warszawskiej po pierwszym semestrze szybko przychodzi drugi, a wraz z nim między innymi kolejna analiza matematyczna, mechanika, termodynamika, wytrzymałość konstrukcji, elektrotechnika, metody numeryczne oraz CAD. Nie chodzi nawet o to, że każdy z tych przedmiotów z osobna jest potworem żywiącym się studentami. Problem polega na ich kumulacji. Trzeba jednocześnie nauczyć się myślenia matematycznego, mechanicznego, przestrzennego i programistycznego. Do tego laboratoria, kolokwia, projekty i sprawozdania. Na naszej zupełnie nieoficjalnej skali trudności pierwszy rok dostaje 8,5 na 10. Da się przeżyć i ludzie robią to każdego roku, ale przekonanie, że „jakoś to będzie", nie jest najlepszą strategią lotniczą. Na drugim roku robi się ciekawiej, bo wreszcie zaczyna być wyraźnie widać samolot. Pojawiają się mechanika płynów, mechanika lotu, systemy pokładowe, automatyka i sterowanie, aerodynamika, elektronika, zespoły napędowe czy projektowanie obiektów latających. I wtedy zaczyna się rozumieć, dlaczego wcześniej trzeba było męczyć analizę i termodynamikę. Okazuje się, że wzory nie powstały wyłącznie po to, żeby wykładowca miał co wpisać na egzaminie. Bez nich trudno opisać przepływ powietrza, stateczność samolotu, pracę turbiny czy obciążenia konstrukcji. Tyle że ciekawiej nie oznacza łatwiej. Drugi rok spokojnie zasługuje na 9 na 10 w skali trudności. Materiał zaczyna być bardziej lotniczy, ale jednocześnie wymaga korzystania ze wszystkiego, czego uczono wcześniej. Student przestaje więc tylko zdobywać wiedzę, a zaczyna jej używać. Do tego dochodzi sposób zaliczania. Aktualny program PW przewiduje nie tylko klasyczne egzaminy i kolokwia, ale również zadania obliczeniowe, projekty, laboratoria, pracę na rzeczywistych i symulowanych układach oraz sprawozdania. Innymi słowy: można znać teorię,

eprasa.pl 360946405d

a i tak trzeba jeszcze coś policzyć, zaprojektować, uruchomić albo udowodnić, że działa. Po czterech semestrach zaczyna się to, na co wiele osób czeka od początku, a więc specjalizacja. Na pierwszym stopniu PW student może obecnie wybrać automatykę i systemy lotnicze, eksploatację statków powietrznych, napędy lotnicze albo statki powietrzne. Od piątego semestru plan rzeczywiście zaczyna się różnicować. Automatyka i systemy lotnicze oznaczają więcej czujników, systemów pomiarowych, awioniki, symulacji i integracji systemów. Napędy wchodzą głębiej w spalanie, silniki turbinowe i tłokowe, konstrukcję silników i obliczenia przepływowe. Statki powietrzne to konstrukcje, modelowanie, metoda elementów skończonych, aeromechanika i projektowanie. Eksploatacja dokłada między innymi zagadnienia dotyczące systemów pokładowych, materiałów, czynnika ludzkiego i utrzymania statków powietrznych. Szósty semestr przynosi również obowiązkową praktykę. Na PW trwa ona cztery tygodnie i daje 4 ECTS. Uczelnia wymienia wśród miejsc współpracy i odbywania praktyk takie firmy i instytucje jak PLL LOT, Airbus Poland, Łukasiewicz – Instytut Lotnictwa, Centrum Badań Kosmicznych PAN, ITWL, LOT Aircraft Maintenance Services, Pratt & Whitney, PZL Mielec, PZL Świdnik, Thales, WB Electronics czy SENER. Ostatni semestr inżynierki poświęcony jest już w dużej części pracy dyplomowej. Po siedmiu semestrach można odebrać tytuł inżyniera i zacząć pracę. Można też wejść poziom wyżej i rozpocząć studia uzupełniające.

Lądowanie na rynku pracy

Pozostaje pytanie, które wcześniej czy później zada prawie każdy student: fajnie, ale czy da się z tego żyć? Da się. Tylko zanim zaczniemy mnożyć tysiące złotych i kupować w wyobraźni mieszkanie z widokiem na lotnisko, warto oddzielić kilka różnych zawodów. Nie istnieje jedna pensja „inżyniera po lotnictwie i kosmonautyce". Absolwent może pracować jako konstruktor, technolog, inżynier jakości, specjalista R&D, automatyk, inżynier obliczeniowy, pracownik MRO albo po zdobyciu odpowiednich uprawnień, mechanik czy pilot. Każde z tych stanowisk ma zupełnie inny próg wejścia i zupełnie inne zarobki. Raport płacowy Hays 2026 daje przynajmniej punkt odniesienia dla szeroko rozumianej inżynierii. Design Engineer (inżynier konstruktor/projektant) z doświadczeniem 3...5 lat otrzymuje według raportu od 8 do 13 tysięcy złotych brutto miesięcznie, przy czym najczęściej oferowana stawka wynosi 10 tysięcy złotych. Project Engineer (inżynier projektu) mieści się w przedziale 9...14 tysięcy złotych, Automation & Reliability Engineer (inżynier ds. automatyki i niezawodności) 10...14 tysięcy złotych, a R&D Engineer (inżynier ds. badań i rozwoju) 13...18 tysięcy złotych, z najczęściej oferowanymi 16 tysiącami złotych. Trzeba mocno podkreślić, że nie są to wynagrodzenia świeżych absolwentów ani wyłącznie pracowników lotnictwa. Raport obejmuje produkcję i inżynierię, a wartości oznaczone w tej części dotyczą osób z kilkuletnim doświadczeniem. Na samym początku może być zdecydowanie skromniej. W jednej z ofert dla młodszego mechanika lotniczego bez wymaganego doświadczenia LS Technics proponował 5000...5500 złotych. To również dobrze pokazuje, dlaczego wrzucanie do jednego worka pilota, konstruktora, mechanika i specjalisty R&D nie ma większego sensu.

Lot w jedną stronę?

Lotnictwo i kosmonautyka jest kierunkiem trudnym. Nie ma sensu tego pudrować. Nie oznacza to, że trzeba być matematycznym geniuszem. Trzeba natomiast zaakceptować fakt, że zainteresowanie lotnictwem nie zastąpi pracy. Zdjęcie F-16 nad biurkiem nie pomoże w równaniach różniczkowych, a tapeta z Falconem 9 nie zaliczy termodynamiki. Ale jeśli ktoś, patrząc na samolot, zastanawia się nie tylko, dokąd leci, lecz także dlaczego w ogóle potrafi utrzymać się w powietrzu, kierunek może okazać się bardzo dobrym wyborem. ■



Michał Pacholski

eprasa.pl 360946405d

Czy Japończycy wytworzą kosmiczne pola magnetyczne na Ziemi?

W tym artykule chcielibyśmy krótko opowiedzieć, jakie znaczenie mają pola magnetyczne. Podamy przykłady ich źródeł – zarówno naturalnych jak i sztucznych. Dokonamy też krótkiego przeglądu trudności, które pojawiają się podczas wytwarzania silnych pól magnetycznych i wyjaśnimy dlaczego tak się dzieje. Szczególną uwagę zwrócimy na metodę kompresji strumienia magnetycznego, umożliwiającą wytwarzanie najsilniejszych pól magnetycznych.

Potrzebne i wszechobecne

O tym, że pola magnetyczne mają szeroki zakres zastosowań na Ziemi nie trzeba nikogo przekonywać. Codziennie korzystamy z lodówek, których drzwiczki mają uszczelkę magnetyczną, do budynku wchodzimy przez drzwi otwierane elektromagnetycznym zamkiem, a gdy stan naszego zdrowia budzi wątpliwości, to dostajemy skierowanie na rezonans magnetyczny. Czasami pole magnetyczne musi być odpowiednio silne, żeby spełniało swoją rolę. Tak jest m.in. podczas wykonywaniu rezonansu magnetycznego, czy badania niektórych materiałów. Jedną z podstawowych wielkości, chrakteryzujących pole magnetyczne w sposób ilościowy jest indukcja magnetyczna. Jednostką tej wielkości jest tesla (T). Jej nazwa pochodzi o nazwiska wybitnego inżyniera Nicola Tesli, który wniósł znaczący wkład w rozwój elektrotechniki. Stosunek indukcji najsilniejszego do najsłabszego ze znanych obecnie pól magnetycznych jest bardzo szeroki wynosi 10^{25}. Charakterystyczne przykłady pól z tego zakresu są podane w **tabeli 1**.

Problemy z opornymi cewkami

Podczas nauki w szkole poznaliśmy wzór na indukcję pola magnetycznego B, wytwarzanego przez powszechnie stosowane do tego celu źródło, czyli cewkę, nazywaną też solenoidem. Zgodnie z tym wzorem

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r N I}{l} \quad (1),$$

gdzie: N oznacza liczbę zwojów, l – długość cewki, I – natężenie prądu, μ_r – względną przenikalność magnetyczną rdzenia, zaś $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (Vs)/(Am) i jest nazywane przenikalnością magnetyczną próżni. Patrząc na wzór (1) można wnioskować, że w celu wytworzenia dowolnie silnego pola magnetycznego wystarczy zwiększać natężenie prądu lub liczbę zwojów, albo zmniejszyć długość cewki lub umieścić w niej rdzeń wykonany z materiału o dużej wartości μ_r. Niestety, sprawa jest o wiele bardziej skomplikowana.

Wzór (1) jest uproszczony i daje dobre wyniki tylko dla idealnego solenoidu, którego długość jest znacznie większa od jego średnicy. Poza tym grubość uzwojenia idealnego solenoidu powinna być mała, najlepiej żeby to była jedna warstwa zwojów. W przypadku rzeczywistego solenoidu o promieniu wewnętrznym r_1 i zewnętrznym r_2, maksymalna wartość indukcji magnetycznej B_s jest w jego środku i wyraża się wzorem

$$B_s = \frac{\mu_0 \mu_r N I}{l} ln\left(\frac{r_2 + \sqrt{r_2^2 + (l/2)^2}}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (l/2)^2}}\right) \quad (2).$$

Ze wzorów (1, 2) wynika, że gdy zwiększymy liczbę zwojów solenoidu N, to zwiększy się też jego długość l, bo drut ma przecież jakąś średnicę. Wtedy indukcja zmaleje albo w najlepszym

eprasa.pl 360946405d

przypadku nie zmieni się, jeżeli zachowamy stałą liczbę zwojów na jednostkę długości *N/l*. Można postąpić inaczej i zachowując stałą długość *l* dodawać kolejne warstwy zwojów. Wtedy zwiększy się promień zewnętrzny solenoidu r_2 i indukcja również wzrośnie. Ten wzrost zachodzi jednak według funkcji logarytmicznej, czyli bardzo powoli, np. zwiększając 10 razy liczbę i obliczając jej logarytm naturalny otrzymamy wzrost 2,3 razy, a zwiększając 100 razy wzrost będzie 4,6 razy, czyli dziesięciokrotne zwiększenie liczby zwojów dało tylko dwukrotny wzrost indukcji pola. Stąd wniosek, że od pewnego momentu ten sposób jest bardzo mało efektywny. Natężenia prądu *I* też nie możemy zwiększać dowolnie. Zapewne pamiętamy, że większy prąd wymaga grubszego przewodu, bo za cienki się nagrzeje i przepali. Stąd konieczność zwiększenia grubości przewodu i tu wracamy do opisanych problemów z wymiarami solenoidu. Co prawda, można w przewodzie wywiercić otwory lub zrobić przewód z rurki i pompować przez niego wodę chłodzącą, ale wtedy wymiary przewodu też wzrosną, a szybkość przepływu ma swoje granice.

Tabela 1. Pola magnetyczne ze znanych obecnie źródeł

Lp.	Nazwa źródła	Indukcja B [T]
1	Niektóre organizmy[1]	8×10^{-15}
2	Pracujący mózg człowieka	10^{-11}
3	Przestrzeń międzygwiezdna	10^{-10}
4	Planeta Ziemia	$0{,}5 \times 10^{-5}$
5	Magnesy trwałe	0,1 ÷ 1,2
6	Maszyny elektryczne	0,2 ÷ 2
7	Elektromagnesy rdzeniowe	0,1 ÷ 2,5
8	Słońce	10^{-3} ÷ 3
9	Układy magnesów trwałych	0,1 ÷ 4
10	Urządzenia fizyki jądrowej	2 ÷ 12
11	Centrum atomu wodoru	12,3
12	Cewki bezrdzeniowe	6 ÷ 20
13	Magnesy nadprzewodnikowe	6 ÷ 25
14	Magnesy hybrydowe[2]	25 ÷ 45,5
15	Magnesy kwazistacjonarne	50 ÷ 100
16	Cewka jednozwojowa	10 ÷ 300
17	Kompresja elektromagnetyczna	300 – 1200
18	Kompresja wybuchowa	1000 ÷ 2500
19	Ognisko impulsu silnego lasera	4×10^4
20	Kompresja nanorurek węglowych[3]	10^5 ÷ 10^6
21	Granica paczki protonów w LHC[4]	10^6 ÷ 10^7
22	Gwiazdy neutronowa	10^6 ÷ 7×10^7
23	Pulsary	$3 \div 5 \times 10^8$
24	Magnetary[5]	10^{10} ÷ 10^{12}
25	Początek Wszechświata[6]	10^{30} ÷ 10^{42}

Uwagi: [1] najsłabsze mierzalne, [2] najsilniejsze stałe na Ziemi, [3] wynik symulacji, [4] najsilniejsze impulsowe na Ziemi, [5] rodzaj gwiazd, [6] najsilniejsze badane przez teoretyków

Nadprzewodniki i rdzenie też nie dają rady

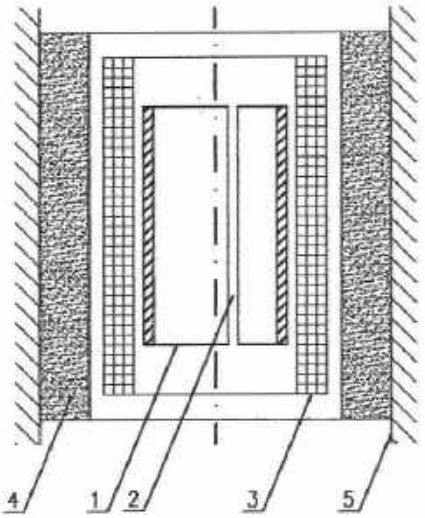
Pewnie wiemy, że istnieją nadprzewodniki, w których prąd płynie bez oporu i nagrzewania. Niestety, te materiały tracą swoje właściwości, gdy natężenie płynącego w nich prądu lub indukcja pola magnetycznego wzrosną powyżej pewnych wartości krytycznych. Ponadto, nadprzewodniki wymagają chłodzenia ciekłym helem lub azotem. Oprócz tego, każda cewka podczas przepływu prądu znajduje się w jej własnym polu magnetycznym i z nim oddziałuje. W ten sposób na cewkę są wywierane siły elektrodynamiczne, ściskające ją wzdłuż osi i rozciągające wzdłuż promienia. Niejedna cewka, wytwarzająca silne pole magnetyczne, uległa przez to rozerwaniu na kawałki.

Żeby zwiększyć indukcję pola można umieścić w cewce rdzeń wykonany z materiału o dużej przenikalności magnetycznej. Stosując ten sposób też natrafimy na przykrą niespodziankę. Ze wzrostem indukcji przenikalność maleje i rdzeń już nie spełnia swojej roli. Dlatego do wytwarzania pól o indukcji powyżej 3 T są stosowane cewki bezrdzeniowe. Wspomniane ograniczenia materiałowe i wzajemnie wykluczające się zależności to tylko wybrane problemy, z którymi walczą fizycy i inżynierowie, zajmujący się wytwarzaniem silnych pól magnetycznych przy użyciu cewek. Chociaż osiągają sukcesy, to postęp na tej drodze jest powolny i rewelacyjnego przełomu nie ma.

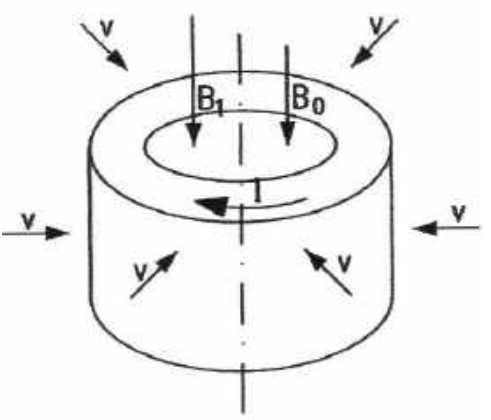
Więc może wybuchem

Na początku lat pięćdziesiątych XX w. Andrei Sakharov w ówczesnym Związku Radzieckim przeprowadził eksperymenty, które pozwoliły zwiększyć indukcję wytwarzanych pól magnetycznych kilkaset razy. Schemat układu

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 1. Schematyczny przekrój układu do wytwarzania silnych pól magnetycznych metodą wybuchowej kompresji strumienia magnetycznego; 1 – liner, 2 – szczelina, 3 – cewka, 4 – ładunek wybuchowy, 5 – osłona



Rysunek 2. Wyjaśnienie wzrostu indukcji pola podczas kompresji; B_0 – indukcja początkowa, B_1 – indukcja dodatkowa, I – natężenie prądu indukowanego w linerze, v – prędkość ściskania

zastosowanego do tego celu przedstawia **rysunek 1**. W cewce 1 o niewielkiej liczbie zwojów znajdowała się metalowa rura 2 z podłużną szczeliną, nazywana linerem. Na zewnątrz cewki 1 był cylindryczny ładunek wybuchowy 3. Na osi układu zamocowano próbkę badanego materiału 4. Cewkę zasilano wysokim napięciem z baterii kondensatorów lub generatora. Gdy przez cewkę przepływał silny impuls prądu, to wytwarzała ona pole magnetyczne, przenikające do linera. Podłużna szczelina zapobiegła indukowaniu prądów wirowych, które zgodnie z regułą Lenza przeciwdziałałyby temu wnikaniu. W tym czasie odpalano cylindryczny ładunek wybuchowy, wytwarzający falę uderzeniową. Ta fala rozchodziła się radialnie w stronę osi układu i powodowała ściskanie linera. Najpierw zamykała szczelinę, a następnie powodowała ruch jego ściany.

W zamkniętym linerze, którego ściana poruszała się prostopadle do linii pola magnetycznego, był indukowany dodatkowy prąd, wzmacniający początkowe pole magnetyczne (**rysunek 2**). Strumień indukcji pola pozostawał stały, natomiast powierzchnia, przez którą przechodził malała. Skutkiem tego indukcja pola wzrastała. W sumie to wyglądało tak, jakby pole magnetyczne było ściskane przez falę uderzeniową wybuchu i stąd nazwa wybuchowa kompresja strumienia magnetycznego. Zanim fala uderzeniowa doszła do osi układu, to przyłączone do próbki i umieszczone w bezpiecznej odległości przyrządy, np. szybkie oscyloskopy, rejestrowały zmiany jej właściwości.

Chociaż cały układ musiał być umieszczony w specjalnym bunkrze i w końcu ulegał zniszczeniu, to umożliwiał wytwarzanie pól magnetycznych o indukcji ponad 10^3 T w objętości kilku cm^3 i czasie trwania ok. 10 µs. Wyniki nie zawsze były powtarzalne, ponieważ sukces zależał od dokładnej zbieżności fali uderzeniowej na osi układu. Rekordowa indukcja uzyskanego w ten sposób pola wynosiła 2800 T. W tym celu zastosowano trzystopniową kompresję i zużyto ponad 40 kg materiałów wybuchowych. Dzięki temu można było prowadzić badania w unikalnych i nieosiągalnych innymi metodami warunkach. Opisane układy po ulepszeniu są budowane w różnych odmianach do dziś i używane w kilku laboratoriach na świecie, m.in. w USA, Federacji Rosyjskiej i Japonii, do badania efektów magnetooptycznych.

Japończycy wolą lasery

W 2025 r. ukazał się artykuł dwóch fizyków z Japonii, który może być kolejnym przełomem w technice wytwarzania silnych pól magnetycznych [1]. Autorzy zaproponowali użycie do tego celu nanorurek węglowych o specjalnie ukształtowanej powierzchni wewnętrznej, podobnie do asymetrycznych zębów piły (**rysunek 3**). Zewnętrzna powierzchnia takich nanorurek ma być poddawana działaniu zogniskowanego promieniowania z laserów impulsowych o dużej mocy.

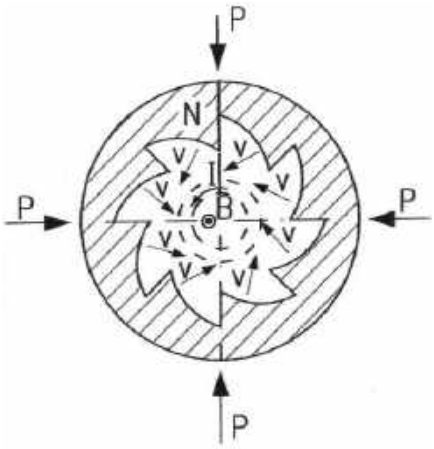
eprasa.pl 360946405d

Średnica zewnętrzna nanorurek to 8 µm, wewnętrzna 5 µm, a długość fali promieniowania 0,8 µm. Ponieważ planowane jest użycie laserów attosekundowych, to czas trwania impulsu będzie w granicach $10^{-17} \div 10^{-18}$ s. Pozwoli to po zogniskowaniu osiągnąć natężenie promieniowania $10^{25} \div 10^{26}$ W/m^2.

Wiadomo, że promieniowanie padając na powierzchnię wywiera ciśnienie i przekazuje jej swoją energię. Dlatego ścianka nanorurki zostanie zmieniona w plazmę, w której popłynie prąd elektryczny. Dzięki zębatemu ukształtowaniu wewnętrznej powierzchni nanorurki plazma przyjmie kształt cylindrycznego wiru, w którym przepływ prądu nastąpi wzdłuż obwodu. Taki prąd wytworzy pole magnetyczne skierowane wzdłuż osi cylindra, przy czym cylinder będzie nadal ściskany przez promieniowanie w kierunku osiowym. W tym momencie sytuacja staje się analogiczna, jak w przypadku rozpatrywanej wcześniej kompresji strumienia magnetycznego metodą wybuchową. Według symulacji komputerowych, wykonanych przez autorów artykułu, w końcowym efekcie można by wytworzyć w ten sposób pole magnetyczne o indukcji $10^5 \div 10^6$ T. Lasery potrzebne do eksperymentalnej weryfikacji opisanej koncepcji są dostępobaczymy, czy się to udane. Z. Zauważmy jednak, że gdyby się udało to i tak objętość zajmowana przez uzyskane pole nie przekroczy kliku nanometrów sześciennych, a czas trwania impulsu będzie w granicach $10^{-20} \div 10^{-21}$ s. Nie wyklucza to jednak ciekawych obserwacji i eksperymentów. Wiadomo, że w dostatecznie silnym polu elektromagnetycznym zachodzi efekt Schwingera, polegający na kreacji par elektron-pozyton. Czas pokaże, np. jakie cząstki zostaną wykreowane w polach rozpatrywanych przez fizyków z Japonii? Pola magnetyczne o tak dużej indukcji mogą też ułatwić przeprowadzenie, choćby w mikroskali, kontrolowanej syntezy termojądrowej z dodatnim bilansem energii. To osiągnięcie byłoby właściwym krokiem do kierunku rozwiązania problemu, z którym fizycy i inżynierowie walczą od ponad 50 lat. Celem tych badań jest zapewnienie mieszkańcom naszej planety, nowego i praktycznie niewyczerpalnego źródła energii.

Też mieliśmy pomysł

Na zakończenie ciekawostka. Kilka lat temu jeden z autorów tego artykułu wraz ze swoim doktorantem rozpatrywał nowe możliwości wytwarzania silnych pól magnetycznych. Brane były



Rysunek 3. Sposób tworzenia pola magnetycznego podczas kompresji nanorurki węglowej o zębatej powierzchni wewnętrznej; N – nanorurka, p – ciśnienie światła laserowego, v – prędkość strumieni plazmy, I – natężenie prądu w wirze, B – indukcja magnetyczna wytwarzanego pola.

pod uwagę różne koncepcje. Jedna z nich polegała na zastosowaniu cząstek naładowanych, poruszających się z prędkością bliską prędkości światła. Takie cząstki w układzie spoczywającym, najczęściej wiązanym z laboratorium, można traktować jako przepływ prądu elektrycznego. Wykorzystaliśmy wzory szczególnej teorii względności. Po wykonaniu obliczeń otrzymaliśmy, że indukcja pola magnetycznego, wytwarzanego w pobliżu granicy paczek protonów przyspieszanych do energii 7 TeV w LHC może wynosić $10^4 \div 10^6$ T. W największym polskim akceleratorze, pracującym w Centrum Promieniowania Synchrotronowym „Solaris" w Krakowie, indukcja pola wytwarzanego przez paczki elektronów byłaby kilkaset razy mniejsza, ale też warta uwagi. Pojawił się pomysł zbudowania specjalnej komory do zautomatyzowanego badania materiałów w takich polach. Niestety, pomysł nie został zrealizowany, bo jego koszt wynosiłby ok. 3 mln złotych. Skończyło się na publikacji wyników i udanej obronie pracy doktorskiej [2].

Jacek Ćwik
Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN
Stanisław Bednarek
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej UŁ

[1]. D. Pan, M. Murakami, „Physics of Plasma", 32, 072107 (2025)
[2]. S. Bednarek, J. Płoszajski, „Przegląd Elektrotechniczny" 93, 2, 254 (2017)

eprasa.pl 360946405d



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.

Nasze eliptyczne bezpieczeństwo

Temat tego artykułu wziął się z refleksji na temat egzaminu dojrzałości 2026 (czyli matury) oraz ogólnie, z myśli, jak teraz uczyć, gdy mamy do dyspozycji sztuczną inteligencję. Bardziej konkretnie, jak i czego powinienem uczyć studentów na przedmiocie zwanym „Matematyka” w uczelni, w której nazwie jest „Informatyka stosowana”. Oto jeden z tematów: szyfry, bezpieczeństwo, tajne uzgodnienia.

Królowa rządzi. Jest słynne powiedzenie, przypisywane Karlowi Gaussowi (1777–1855), zwanemu już za życia *Księciem Matematyków*, że matematyka jest Królową Nauk, a teoria liczb jest Królową Matematyki. Z biegiem lat powoli okazywało się, że to jak obecnie z każdym królem: może i panuje, ale nie rządzi. Teoria liczb jest fascynująca, ale wydawała się kompletnie bezużyteczna.

Od pół wieku Królowa znowu rządzi, choć może nie jest to monarchia absolutna, lecz oświecona. Pod Jej opiekuńczymi skrzydłami możemy czuć się bezpiecznie. W każdym razie znacznie bezpieczniej niż przedtem. Mamy taką klatkę na złodzieja: „Proszę, wejdź, drzwi są otwarte”. Rabuś wchodzi, a tu zapada się pod nim podłoga. Podziemnym tunelem od razu jedzie do więzienia, a komputer feruje mu wyrok. Tymczasem ani nam, ani naszym przyjaciołom, ani nawet dostawcom, nic nie grozi. System wykrywa intencje przybysza!

Szczerze: to jednak nie do końca tak jest. Napisałem to dla efektu i ubarwienia narracji – żeby Czytelników bardziej zainteresować. Komputery jeszcze nie potrafią aż tak dogłębnie wejść w nasze myśli. Na szczęście. Tylko w pewnym koreańskim filmie pojawia się aplikacja, która powiadamia nas, że niedaleko jest ktoś, kto darzy nas sympatią.

Pół wieku temu pojawiły się pierwsze szyfry z kodem publicznym. Mogę ogłosić w gazecie: wiadomości do mnie proszę szyfrować takim a takim kodem – i nikt tego nie odczyta. Ściśle rzecz biorąc, to przeczytać sobie może, ale nic nie zrozumie. Tylko ja. Szyfr jest nie do złamania. Jak to możliwe?

***

Czy pamiętasz tę noc w Zakopanem? Aby zbudować taki szyfr, trzeba najpierw zmatematyzować taką ogólną ideę: posługujemy się informacją, która znana jest tylko nadawcy i odbiorcy. W filmie „Pogranicze w ogniu” prześladowany

eprasa.pl 360946405d

w latach trzydziestych XX wieku niemiecki profesor chce sprawdzić, czy ktoś podający się za jego ucznia jest nim w istocie (wstępny kontakt jest przez trzecią osobę). Zadaje pytanie: „co szczególnego wydarzyło się podczas naszego ostatniego spotkania u mnie w domu?" Student od razu odpowiada osobie pośredniczącej: „gospodyni przewróciła się niosąc tacę z kieliszkami z winem." Zgadza się. Kontakt zostaje nawiązany.

Zacznę od czegoś, co formalnie nie jest jeszcze szyfrem, ale pokonuje zasadniczą trudność. Czy można przekazać tajne hasło przez telefon? Podejrzewamy, że jest na podsłuchu.

Tak. Można. Objaśnię na przykładzie. Użyte tu liczby są niewielkie i złamanie takiego kodu nie nastręczyłoby żadnego kłopotu. Chodzi tylko o ilustrację, jak tajemnicę można zrobić z niczego – poprzez rozmowę publiczną. Szefowa siatki wywiadowczej, Amelia (agentka 001), rozmawia z Bartkiem, agentem 007. Dla zmylenia kontrwywiadu udają, że grają w jakąś grę liczbową.

– Bartku, ja wylosowałam $p = 23$ oraz $q = 31$. Moje A to 4.

– Amelio. Przyjąłem, że $p = 23$ oraz $q = 31$. Moje B to 16.

I już oboje wiedzą, że... chodzi o liczbę 12. To jest ta ich wspólna tajemnica. Co z tym dalej, to już inna sprawa. Mogą ją użyć jako podstawę szyfru. Może to służyć jako sprawdzenie, czy Bartek to istotnie Bartek. Ale o tym już innym razem.

Skąd nagle 12? Wyjaśniam. Podstawą są obliczenia modularne. Matematycy mówią na to „modulo jakaś liczba". Idea jest też bardzo prosta. Jeżeli od godziny ósmej upłynęło sześć godzin, to każdy się zgodzi, że jest... druga. Można napisać, że $8 \oplus 6 = 2$. Plus w kółeczku oznacza dodawanie, ale trochę inne – właśnie takie, jak godzin na zegarze. To jest dodawanie „modulo 12". Podobnie przy rachunkach dni tygodnia mamy dodawanie modulo 7. Cztery dni od piątku wypadnie we wtorek, a więc $5 \oplus 4 = 2$. Mamy też $5 \oplus 18 = 2$. Proszę sprawdzić: jeżeli wyjechałem na urlop w piątek na 18 dni, to wracam we wtorek. Jeżeli obróciłem się dziewięć razy o 90 stopni, to tak jakbym się obrócił jeden raz (o ile zaniedbać to, że mogło mi się zakręcić w głowie) – tu mamy dodawanie modulo 360°. W rachunkach, jaki będzie dzień tygodnia za miesiąc mamy dodawanie modulo 30, albo 31 – albo 28, a raz na cztery lata modulo 29.

Powinniśmy to ująć bardziej matematycznie. Wezmę liczbę 23. Mam miłe wspomnienia z tramwajem warszawskim linii 23. Zbiór liczb od 0 do 22 (podkreślam: od zera do 22, nie od jedynki do 23), w którym dodajemy „modulo 23", oznacza się symbolem Z_{23}. Dodawanie „modulo 23" zawsze daje wynik też między zerem a 22, na przykład $5 \oplus 18 \oplus 12 \oplus 11 = 0 \oplus 0 = 0$.

Ćwiczenie. Rozwiąż równanie $3x + 7 = 6$ w Z_{23}.

Rozwiązanie i ważny komentarz. Możemy napisać, że $x = -\frac{1}{3}$, ale to nic nie znaczy, bo czym jest „minus jedna trzecia" w Z_{23}? Tam są tylko liczby od 0 do 22. Napiszmy jednak inaczej: $3x + 1 = 0$ i po prostu szukajmy: może $x = 0$ się nada? Sprawdzamy – nie. Może $x = 2$? Też nie. Wreszcie trafimy $x = 15$. Sprawdzamy: $3 \cdot 15 + 1$ to „naprawdę" 46, ale skoro mamy wziąć to „modulo 23", to dostajemy zero. Można to też zilustrować rachunkiem... na kątach. Niech β będzie kątem równym $\frac{15}{23}$ kąta pełnego. Jeżeli obrócę się 3 razy o ten kąt, a potem o $\frac{1}{23}$ (kąta pełnego, czyli 360°), to wrócę do wyjściowej pozycji.

Komentarz do tego rozwiązania jest bardzo ważny i on decyduje o zastosowaniach. Nie znamy szybkiego algorytmu na rozwiązanie nawet tak prostych równań, jeżeli wszystko ma być „modulo". Możemy, owszem, szukać po kolei, ale jeżeli pracujemy na przykład modulo liczba pierwsza 1087654321234565731? Ponad trylion przeszukań? Gdyby nawet nasz komputer wykonywał miliard operacji na sekundę, to do zgadnięcia hasła potrzebowałby miliarda sekund, czyli ponad 31 lat.

W rozmowie naszych agentów Amelia najpierw wybrała swoją, tajną liczbę. Jednorazowego użytku! Wzięła $a = 19$. Może przypomniała sobie, że wracała do domu tramwajem numer 19, albo jej najlepsza przyjaciółka ma imieniny 19 tego miesiąca. Najlepiej jednak tę liczbę wybrać losowo. Obliczyła, że $q^a = 31^{19}$ modulo 23 jest równe 4. Mogła to zrobić w bardzo skomplikowany sposób, rachując najpierw, że $31^{19} = 21670662219970396194714277471$, a potem dzieląc to przez 23. Ale to tak, jakby jechać do Lizbony przez Władywostok. Nie będę pokazywać, jak to rachować nawet bez kalkulatora. Powiedzmy, że Amelia skorzystała z odpowiedniego programu, który to obliczy. Może to być popularna w szkole GeoGebra. Poniżej wydruk:

eprasa.pl 360946405d

PotęgaModulo(31, 19, 13) → 4

A zatem jej jawna liczba to właśnie $A = 4$. Bartek podnosi 31 do swojej tajnej potęgi 27. Zobaczmy, co otrzymuje:

PotęgaModulo(31, 27, 23) → 16

Tę szesnastkę wysyła do Amelii, jawnym kanałem, na przykład mówi przez telefon. Teraz robi dalsze obliczenia. Liczbę $A = 4$ otrzymaną od Amelii podnosi do tej swojej tajnej potęgi 27 i bierze wszystko modulo 23.

PotęgaModulo(4, 27, 23) → 12

Zobaczmy, jak wyglądają obliczenia Amelii. Od Bartka dostaje B = 16. Podnosi ją do swojej tajnej potęgi, wszystko modulo 23.

PotęgaModulo(16, 19, 23) → 12

Wspólna tajemnica uzgodniona. Oboje zapominają o swoich tajnych liczbach, a jeżeli zapisali je na karteczkach, to palą karteczki, popiół zakopują, a na wierzchu sadzą kwiatki.

Podsłuchujący znają podstawy $p = 23$, $q = 31$ oraz jawne liczby Amelii i Bartka, czyli $A = 4$, $B = 16$. Ale $A = q^a$, $B = q^b$. Amelia podnosi liczbę Bartka do swojej tajnej potęgi, Bartek to samo robi z liczbą Amelii. Otrzymują to samo, bo $(q^a)^b = (q^b)^a$. Do złamania szyfru potrzebna jest jednak znajomość liczb a, b. Z równości $A = q^a$ można wprawdzie wyznaczyć $a = \log_q A$, ale to równanie nic nie daje, bo mamy logarytm dyskretny. Dla $p = 23$ stworzenie odpowiednich tablic nie byłoby trudne, ale gdy podstawy są ogromne, zadanie przestaje być wykonalne w rozsądnym czasie komputerowym. Na razie nie potrafią tego nawet komputery kwantowe.

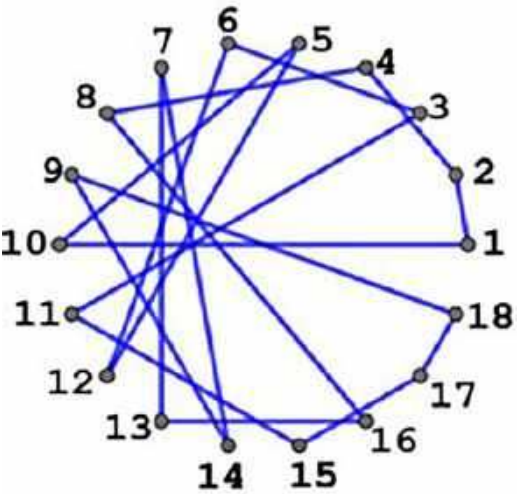
Taka była idea Whitfielda Diffie i Martina Hellmana jeszcze z lat siedemdziesiątych XX wieku. A w naszym przykładzie Amelia i Bartek uzgodnili wspólną tajemnicę: liczbę 12. Gdyby posłużyli się większymi liczbami, otrzymaliby większy wynik (rysunek 1). Jak z liczb p, A, B, q odtworzyć a i b? Nie ma szybkich algorytmów. W przykładzie widocznym na rysunku odkrycie, że Amelia wybrała 57, a Bartek 101, nie byłoby trudne – zaczęlibyśmy próbować: może $a = 1$, może 2, może 3... i najpóźniej za 57 razem byłoby po wszystkim. Jeżeli jednak Amelia wzięłaby, powiedzmy 102739388, to byłoby gorzej (100 milionów sprawdzeń), choć to jeszcze w zasięgu domowego komputera. Trzeba brać bardzo duże liczby. Zaszyfrować łatwo, ale przy liczbach 200-bitowych nic już nie pomoże. Przy budowie szyfru publicznego to jest najważniejsze: uzgodnić wspólną tajemnicę.



Rysunek 1. (źródło: Gemini)

Od regularności do chaosu. Regularne powtarzanie prostej czynności może dać chaos. Mieszamy herbatę jednostajnym ruchem, a cukier sam się rozpuści. Nie tylko gospodyni domowa wie, że powtarzalne ruchy przy zagniataniu ciasta z jajkiem i serem dadzą w końcu jednorodny, dobrze zmieszany materiał na sernik. Aby dobrze potasować karty, wystarczy powtórzyć kilkanaście razy podobne ruchy. Zobaczmy przykład bardziej matematyczny. Wybierzmy $p = 19$. Wystartujmy z liczby 1 i stosujmy tylko jedną operację: mnożenie przez 10, ale (uwaga!) modulo 23, czyli w Z_{23}. Nie będę przytaczał rachunków. Kolejne liczby będą takie:

1→10→5→12→6→3→11→15→17→18→9→ 2
14→7→13→16→8→4→2→1



To „zawijanie" jest właśnie tym, co czyni problem trudnym obliczeniowo i prowadzi do doskonałych szyfrów.

Krzywe eliptyczne: tak proste, a tak tajemnicze. A zatem o krzywych eliptycznych. Nie będę

eprasa.pl 360946405d

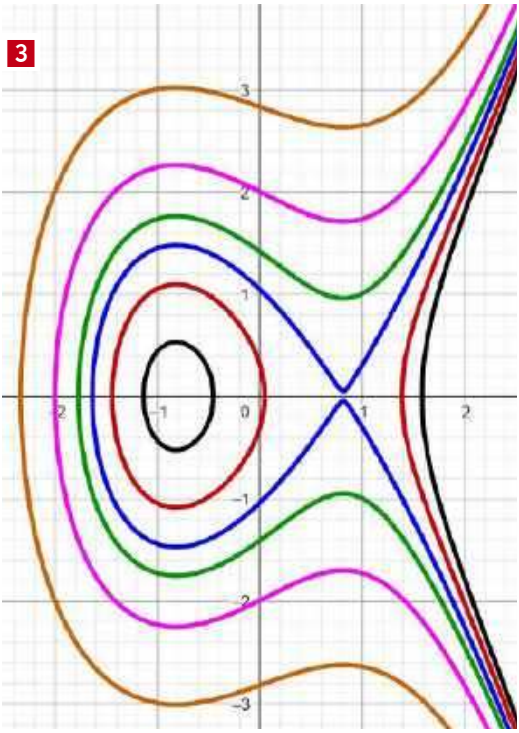
wyjaśniał pochodzenia nazwy, bo nie wzięła się ona z pewnego podobieństwa fragmentów tej krzywej do elipsy. Równanie krzywej eliptycznej można zapisać w tak zwanej postaci normalnej Weierstrassa:

$$y^2 = x^3 + ax + b$$

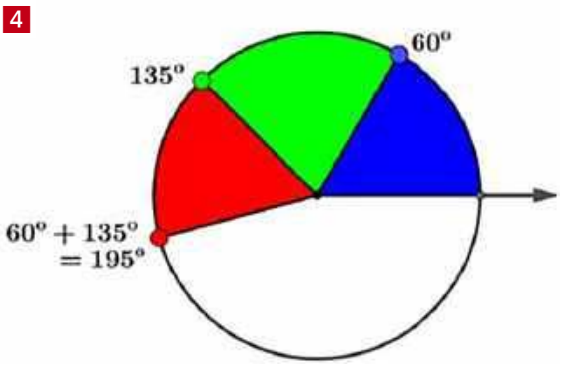
Od liczb a, b zależy kształt tej krzywej. Praktycznie – równania mogą być nieco inne, ale zawsze sprowadzalne do tej postaci. Parametry a, b mogą być prawie dowolne – to znaczy, że są wyjątki. Ale tym nie warto sobie zawracać głowy. Warto zapoznać się z tymi krzywymi (**rysunek 3**).

Na rysunku 3 mamy krzywe eliptyczne $y^2 = x^3 - x + c$ dla różnych c. Popatrzmy na to jak na meandrujące rzeki. Pierwsza rzeka (od zewnątrz) ma szerokie zakole, następna (różowa) mniejszy. Można sobie wyobrazić, że mamy tu historię jednej rzeki, która powoli, ale systematycznie likwiduje zakole. W krzywej niebieskiej półwysep połączony jest ze stałym lądem tylko wąską groblą, a potem (krzywa czerwona jest już złożona z dwóch części) połączenie zostaje przerwane. Powstaje starorzecze, które stopniowo zanika. W geomorfologii ten proces nazywa się „przełamaniem zakola". Może ktoś z Czytelników zna Beskid Sądecki

3



4



i przełom Popradu między Żegiestowem a Muszyną? Tam są właśnie malownicze zakola (Łopata Polska, Łopata Słowacka). Lubię też zakole koło Jurgowa, gdzie Jaworowy Potok wpada do Białki. Przyjemnie jest tam przejść przez potok i znaleźć się na nagrzanym płaskim kamieniu, już „za granicą". Ale musimy wrócić do matematyki.

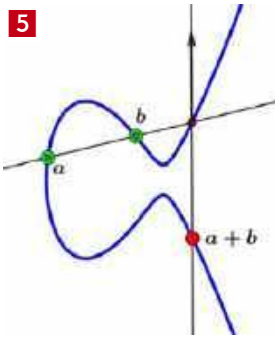
Kluczem do wszystkiego jest niełatwy do udowodnienia fakt, że na takiej krzywej można określić dodawanie punktów. Jak można dodawać punkty? Samą ideę łatwo zrozumieć. Spójrzmy na okrąg. Nie jest on krzywą eliptyczną, ale dobrze nadaje się jako modelowy przykład. Jak dodać dwa punkty na okręgu? Po prostu – dodać kąty. **Rysunek 4** wszystko wyjaśni. Suma niebieskiego i zielonego punktu to punkt czerwony.

Dodawanie na krzywej eliptycznej jest trochę podobne – może bardziej skomplikowane, ale da się opisać. Niełatwo jest tylko uzasadnić, że to daje pożądany wynik. To już jest matematyka z poziomu uniwersyteckiego. Aby dodać punkty, prowadzimy przez nie linię prostą. Przecina ona krzywą w jeszcze jednym punkcie. Łączymy go z „punktem w nieskończoności", czyli prowadzimy prostą w kierunku „pionowym". Tam, gdzie prosta przetnie krzywą, jest suma punktów (**rysunek 5**). W takim dodawaniu punkt w nieskończoności jest zerem.

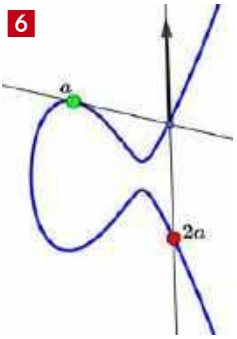
Gdy chcemy dodać punkt a do samego siebie, czyli wyznaczyć $2a$, prowadzimy styczną do krzywej w tym punkcie i postępujemy, jak przedtem (**rysunek 6**). Na **rysunku 7** widzimy, że przy pewnym wyborze punktu może być ciekawie z matematycznego punktu widzenia – ale zupełnie do niczego, jeśli chodzi o kryptografię. Już czwarta wielokrotność punktu P jest równa 0. Nie zbudujemy z tego żadnego szyfru.

eprasa.pl 360946405d

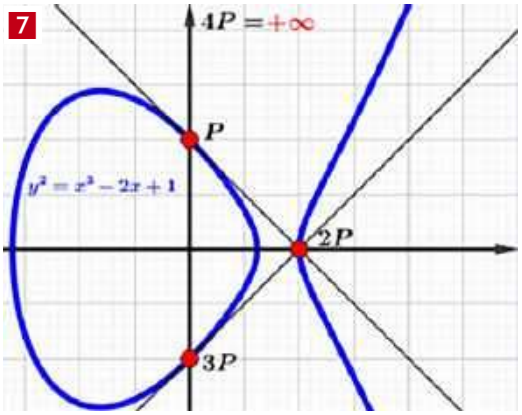
5



6



7



Zmieńmy trochę krzywą... i wszystko zmieni się diametralne i da nam przedsmak trudności. Jeżeli na krzywej $y^2 = x^3 + 17$ zaczniemy od punktu (1,1), to otrzymamy (rachunki oczywiście opuszczę)

$$2\mathrm{P} = \left(-\tfrac{7}{4}, \tfrac{3}{8}\right), 3\mathrm{P} = \left(\tfrac{97}{121}, -\tfrac{1271}{1331}\right),$$

$$4\mathrm{P} = \left(\tfrac{13729}{144}, -\tfrac{1608463}{1728}\right)$$

i szybko skomplikuje się to do olbrzymich liczb, na przykład

$$10P = \left(-\frac{397819592034034520242926 79}{297826476088447720908481 00}, \frac{245864519913630700508411794742958700131}{162534273497254846701343065779204129000}\right)$$

Jak mawiał Kłapouchy w „Kubusiu Puchatku": „Imponujące! To jest właśnie to słowo!"

Nasze eliptyczne bezpieczeństwo. Teraz złóżmy wszystko razem: krzywe eliptyczne, wielokrotności punktów i obliczenia modulo pewna olbrzymia liczba pierwsza. Jawne są: krzywa, podstawa p i punkt startowy G na krzywej. Amelia wybiera tajne a (bardzo duże), Bartek b. Obliczają aG i bG i to sobie wzajemnie przesyłają. Wspólne tajne hasło to abG. Amelia otrzymuje je jako $a(bG)$, Bartek jako $b(aG)$. Zwróćmy uwagę, że jest to możliwe dzięki temu, że $ab = ba$. Zwracam też uwagę, że wszystkie obliczenia prowadzimy modulo p. Podobnie jak poprzednio, nie ma możliwości odtworzenia a i b, gdy znamy aG i bG. „Nie ma" – to znaczy nie tylko, że nie znaleziono algorytmów działających w rozsądnym czasie, a więcej: nie ma widoków na to, że ktoś kiedyś taki algorytm znajdzie.

Od mniej więcej 2017 roku „karierę" w bezpieczeństwie (nie mylić z SB, KGB i FBI) robi krzywa eliptyczna, zaprojektowana właśnie do kryptografii klucza publicznego – szczególnie do bezpiecznego uzgodnienia hasła. Nazywa się jakby nowo odkryta galaktyka: Curve25519. Charakteryzuje się wysoką wydajnością, odpornością na typowe błędy implementacyjne oraz bezpieczeństwem procesu. Określona jest nieco dziwnym wzorem $y^2 = x^3 + 486662x^2 + x$, ale modulo ogromna liczba pierwsza $2^{255} - 19$. Punkt bazowy, wzięty do obliczeń, jest dziwnie prosty: ma współrzędną $x = 9$. Drugą współrzędną możemy obliczyć, podstawiając do wzoru, wychodzi

$$\pm 6\sqrt{2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 15643}$$

ale to nieważne. Chodzi o to, że jego kolejne wielokrotności mają chaotycznie wyglądające współrzędne (podobnie jak na rysunku 2 – tylko że miliardy razy bardziej zapętlone). Oto sam początek: pierwsza współrzędna punktów 2G, 3G, 4G, 5G, 6G, 7G. Jak widać, szybko się to wszystko komplikuje. Szyfr oparty na tej krzywej jest o wiele lepszy, niż ten z potęgowaniem, który omówiłem na początku (szyfr na kolejnej stronie).

Ponieważ wszystko odbywa się w skończonym zakresie liczb, więc po pewnym czasie ten proces zapętli się – dojdzie z powrotem do $x = 3$, podobnie jak na rysunku 2 – tyle, że nie za szesnastym razem, a po około $7{,}24 \cdot 10^{75}$ krokach. Ile to jest? Najszybsze istniejące komputery połączone w supersieć nie zdążyłyby tego przeliczyć, nawet, gdyby

eprasa.pl 360946405d

$$x(2G) = 14847277145635483483963372537557091634710985132825781088887140890597596352251$$

$$x(3G) = 12697861248284385512127539163427099897745340918349830473877503196793995869202$$

$$x(4G) = 55094879196667521951171181671895976763495004283458921215716618814842818532335$$

$$x(5G) = 29723531761959712214579609737676588517305008794118309711793522224007834336391$$

$$x(6G) = 17451678539560600185097266777375991993731104585431131897611834847293708256561$$

$$x(7G) = 61896166079956151933671508773760055139029891634704022903956041168580344607 12$$

pracowały nieprzerwanie od Wielkiego Wybuchu. Możemy też porównać tę liczbę z liczbą atomów we Wszechświecie – astronomowie szacują ją na 10^{80}. Dzisiejsze komputery kwantowe też są dalekie od złamania kodu opartego na Curve25519. Ale co będzie za kilkanaście lat? Na wszelki więc wypadek świat kryptografii próbuje przechodzić na algorytmy odporne na kwanty.

Sensacje i fałszywe wiadomości. Za olbrzymimi liczbami, które tu stoją, kryją się sensacje medialne, oskarżenia o nepotyzm, korupcję władz i wszelkiego rodzaju przekręty. Oczywiście w USA, bo przecież w naszym kraju wszystkie osoby na stanowiskach publicznych są kryształowo czyste. W 2015 roku powiało sensacją. Jeszcze w końcu lat dziewięćdziesiątych NSA (*National Security Agency*) polecała do szyfrów krzywe o kryptonimach P-192, P-224, P-256, P-384, P-521. Przyjęto je nawet jako standardy. Nieważne, jakie miały równania. NSA zapewniało, że zostały wygenerowane doskonałym algorytmem – tyle, że tajnym. No i zaczęło się. Dlaczego tajnym? Przecież ma to być otwarty szyfr, publiczny. Jeszcze gorzej: odkryto, że podobne algorytmy (nie wiadomo, czy akurat ten użyty przez NSA) mają „ukryte drzwi" – zawierają wskazówkę, jak można złamać kod. To tak, jak w jednym z opowiadań Arthura Conan Doyle'a o Sherlocku Holmesie. Pewnego razu Holmes i Watson zostają zamknięci w wieży starego zamku. Drzwi nie mają klamek od wewnątrz, okna są zakratowane, a wieża ma kilkadziesiąt metrów wysokości. Holmes zakłada, że budowniczowie zamku umieścili (jakieś dwieście lat wcześniej) dobrze zamaskowany przycisk, który otworzy drzwi. Oczywiście znajduje go, bo cóż to dla Holmesa? Jeden pstryk i podnosi się podłoga. Pod nią są wąskie i strome schody, ale ucieczka po nich to nie problem dla naszej pary.

Najbardziej podejrzaną była krzywa P-256. Dziesiątki, jeśli nie setki kryptologów zaczęło szukać „tajnego przycisku". Prasa miała sensację. Oskarżano NSA o przestępcze powiązania z biznesem i obcym wywiadem (dajemy wam szyfr, ale od razu mrugamy, jak go złamać). Zrobiło się tak, jak z wieloma fałszywymi wiadomościami. „Pluskwy" nie znaleziono, ale wiarygodność NSA została podkopana; głównie dlatego, że stosowała tajne algorytmy. Trochę prawdy w tym jest. Jeżeli matematyk mówi, że udowodnił jakieś twierdzenie, to nikt nie wierzy jego zapewnieniom, że „sprawdził wszystko" – dopóki nie przedstawi dowodu.

Ta historia ma dalszy ciąg. Matematyk Harold Edwards uprościł nieco krzywą Curve25519 i to tak, że szyfrowanie za jej pomocą jest jak bułka z masłem, a próby złamania kodu – jak samotna wspinaczka w czasie monsunu, po ciemku, na bosaka, bez namiotu, jedzenia i butli z tlenem na Mount Everest.

Być może nasze wspólne, Twoje i moje, bezpieczeństwo leży na krzywej Edwardsa, czyli w geometrii krzywej o równaniu

$$y^2 - x^2 = 1 - \frac{121665}{121666}x^2y^2$$

rozpatrywanej modulo

57896046618658097711785492504343953926634992332820282019728792003956564819949

Czy to lepiej, niż za potrójnymi pancernymi drzwiami stalowej kasy? Matematyka, w którą ja wierzę, mówi, że tak. ■

Michał Szurek

eprasa.pl 360946405d

AVT Kits

SERIA ZESTAWÓW DO NAUKI LUTOWANIA

NOWOŚĆ · SIEDEM PUDEŁEK

EDU BOX

Otwierasz, lutujesz, działa. Komplet elementów i kolorowa instrukcja po polsku w każdym pudełku.



1 · 3 KITY	2 · 3 KITY	3 · 3 KITY	4 · 3 KITY	5 · 4 KITY	6 · 5 KITÓW	7 · 7 ROBACZKÓW
◆ THE BEST OF	◆ THE BEST OF	◆ THE BEST OF	◆ THE BEST OF	◆ THE BEST OF	◆ THE BEST OF	◆ THE BEST OF
Dwukolorowy kwiatek LED	**Kolorofon LED**	**Super Ucho**	**Pikająca kostka do gry**	**Bijące serce LED**	**Minipianino**	**6× Robo-Bug LED**



Kolorowa instrukcja po polsku w każdym zestawie

ZDJĘCIA MONTAŻU · SCHEMAT · WYKAZ ELEMENTÓW · KOLEJNOŚĆ LUTOWANIA

Lutownica, kilka elementów i układ, który świeci, gra albo mierzy temperaturę.

EDU BOX to siedem pudełek dla tych, którzy dopiero biorą lutownicę do ręki. W każdym od trzech do siedmiu kompletnych zestawów AVT — płytki, komplet elementów i kolorowa instrukcja po polsku. Od pierwszego migającego LED-a po kolonię świecących robaczków na wibrujących silniczkach.

1. **Dla początkujących**
   Montaż przewlekany, bez elementów SMD
2. **Komplet elementów**
   Płytki, podzespoły, cyna i instrukcja. Lutownicę i baterie dokupujesz osobno
3. **Kolorowa instrukcja po polsku**
   Zdjęcia montażu, schemat i wykaz elementów — w pełnym kolorze
4. **Efekt widać od razu**
   Światło, dźwięk i czujniki — działa zaraz po zmontowaniu

sklep.avt.pl

AVT SPV Sp. z o.o. · ul. Leszczynowa 11 · 03-197 Warszawa

EDU BOX 1-7
AVTEDUBOX1 … AVTEDUBOX7
zeskanuj i zobacz serię

eprasa.pl 3609464056



Gwiezdne wojny pod lupą fizyka, część 1

Baśń filmowa a naukowe fakty

Sukces wielu kultowych produkcji z gatunku science fiction, na czele z epicką i wielopokoleniową sagą „Gwiezdne wojny", w ogromnej mierze opiera się na ich widowiskowości. Hollywoodzkie efekty specjalne potrafią bez reszty zachwycić, a wręcz bezlitośnie zahipnotyzować widza siedzącego w ciemnej sali kinowej.

Na ekranie regularnie podziwiamy spektakularne, trwające długie sekundy eksplozje statków trafionych potężnymi pociskami blasterów. Widzimy sypiące się na całe kilometry snopy jaskrawych iskier, smugi ognia rozrywające czerń kosmosu oraz potężne, kłębiaste kule ognia. Wszystkiemu temu towarzyszy ogłuszająca oprawa akustyczna: denerwujący ryk silników jonowych, głośne wybuchy, basowe tąpnięcia oraz trzaski niszczonych stalowych konstrukcji. To piękna, kinowa baśń, do której nasze zmysły zdążyły się już całkowicie przyzwyczaić.

Gdybyśmy jednak zrzucili z oczu hollywoodzkie okulary i stali się naocznymi świadkami prawdziwej, autentycznej bitwy w przestrzeni międzygwiezdnej, realne wydarzenia przebiegałyby w sposób drastycznie odmienny – w absolutnej, wręcz grobowej ciszy i niemal w całkowitej, nieprzeniknionej ciemności.

Dociekliwy czytelnik może w tym miejscu zadać fundamentalne pytanie: dlaczego? Co tak naprawdę stoi na przeszkodzie, aby potężne płomienie buchały w nieskończoność, a widowiskowe odgłosy eksplozji i wstrząsy mechaniczne niosły się ryczącą falą po całym układzie planetarnym? Dlaczego kosmiczne pojedynki w rzeczywistości przypominałyby pokaz niemego kina? Odpowiedź na tę zagadkę okazuje się brutalnie prosta i banalna z punktu widzenia fizyki. Na drodze filmowej fantazji i reżyserskich

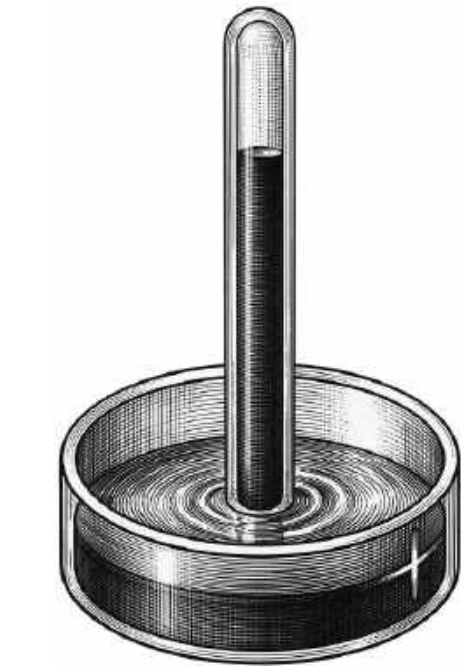
eprasa.pl 360946405d

trików staje bowiem bariera pod postacią kosmicznej próżni.

Odrobina historii

Przez całe stulecia dominował w nauce pogląd Arystotelesa, zgodnie z którym natura nie znosi próżni i puste przestrzenie nie mają prawa istnieć. Proponowano różne teorie wyjaśniające naturę materii międzygwiezdnej, argumentując, że skoro światło rozchodzi się w przestrzeni kosmicznej, a ciepło Słońca dociera na Ziemię – musi istnieć jakiś nośnik światła i energii cieplnej. Z braku innego wyjaśnienia przyjmowano, że światło i grawitacja rozchodzą się za pośrednictwem eteru. Jednak liczne doświadczenia wykonywane w celu potwierdzenia jego istnienia nie dawały spodziewanego rezultatu.

Jeszcze zanim definitywnie obalono teorię eteru, w roku 1643 Evangelista Torricelli jako pierwszy na świecie stworzył stałą próżnię w warunkach laboratoryjnych. Wykorzystał do tego szklaną rurę wypełnioną rtęcią i odwróconą dnem do góry w naczyniu. Rtęć opadła pod wpływem grawitacji, zostawiając na górze pustą przestrzeń. Torricelli w chwili przeprowadzenia tego eksperymentu nie mógł nawet przewidzieć, że odkrył coś bardzo fundamentalnego, co nauka w pełni zrozumie dopiero za kilkaset lat.



Rysunek 1. Torricelli wypełnił rtęcią rurkę, a następnie obrócił i wstawił do szerokiego naczynia. Część rtęci wypłynęła, pozostawiając nad sobą próżnię

W roku 1650 Otto von Guericke skonstruował pierwszą mechaniczną pompę próżniową, przy pomocy której można było odsysać powietrze ze szczelnych pojemników. To on w 1654 roku przeprowadził słynne doświadczenie z „półkulami magdeburskimi", których po odpompowaniu powietrza nie mogło rozerwać 16 koni. Tym samym udowodnił istnienie nieodczuwalnego, aczkolwiek potężnego ciśnienia atmosferycznego.

Niedługo później, bo już w 1660 roku, brytyjski inżynier i fizyk Robert Boyle, z pomocą konstruktora Roberta Hooke'a, udoskonalił pompę próżniową i zbudował urządzenie laboratoryjne złożone z grubego szklanego słoja połączonego z metalowym cylindrem ssącym. Pomiędzy naczyniami znajdował się zawór.

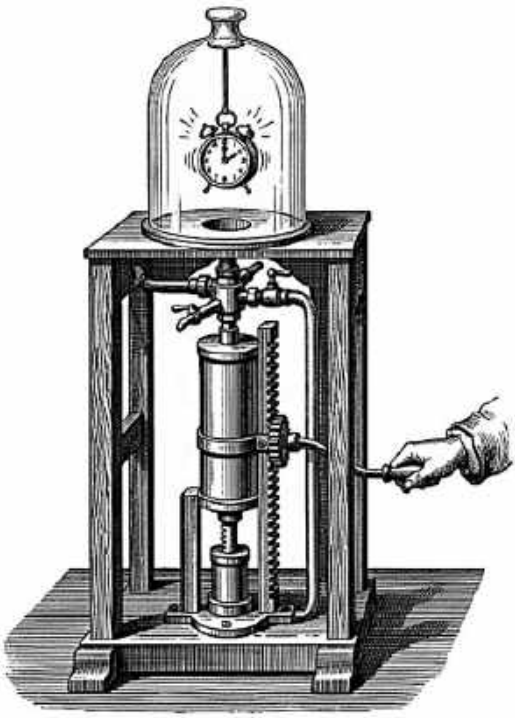
Boyle postanowił sprawdzić, czym tak naprawdę jest dźwięk i jak zachowuje się w przestrzeni pozbawionej materii. Wewnątrz szklanego słoja zawiesił na delikatnej nitce głośno tykający, mechaniczny zegarek z dzwonkiem alarmowym (wczesny prototyp budzika). Dopóki w słoju znajdowało się normalne, ziemskie powietrze, mechanizm dzwonka bił donośnie, a fala dźwiękowa bez problemu przechodziła przez szkło i była doskonale słyszalna w całym laboratorium.

Po uruchomieniu pompy, w miarę jak gęstość gazu wewnątrz słoja drastycznie spadała, dźwięk zegarka stawał się coraz cichszy i coraz bardziej matowy. W ułamku sekundy, gdy w słoju wytworzyła się głęboka próżnia laboratoryjna, nastąpił absolutny fenomen: mimo że mechaniczny młoteczek budzika wciąż uderzał o metalową miseczkę dzwonka, na zewnątrz nie wydostawał się żaden dźwięk. W laboratorium przestano słyszeć dźwięk pracującego mechanizmu.

Dźwięk jako fala

Aby zrozumieć, dlaczego żadne odgłosy nie mogą rozchodzić się w kosmicznej próżni, musimy najpierw przeanalizować samą naturę fizyczną dźwięku. W mechanice klasycznej dźwięk definiuje się jako falę mechaniczną. Oznacza to, że do zaistnienia i rozchodzenia się w przestrzeni potrzebuje on materialnego ośrodka, którego cząsteczki mogą zostać fizycznie wprawione w drgania.

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 2. Przybliżony wygląd oryginalnego zestawu doświadczalnego skonstruowanego przez Boyle'a i Hooke'a

Fale mechaniczne posiadają unikalną zdolność propagacji w różnych stanach skupienia materii: rozchodzą się w gazach (takich jak ziemska atmosfera) oraz w cieczach (na przykład w wodzie). Najszybciej poruszają się w ciałach stałych, gdzie gęstość upakowania atomów jest najwyższa. Ze względu na mechanizm ruchu rozróżnia się dwa rodzaje fal: fale poprzeczne oraz fale podłużne.

W naszym codziennym, makroskopowym świecie zdecydowanie najłatwiej jest nam zaobserwować oraz intuicyjnie zrozumieć fale poprzeczne. Przykładem tego zjawiska jest miarowe rozchodzenie się kręgów na gładkiej powierzchni wody po wrzuceniu kamienia, ale również rytmiczny ruch sznura zamocowanego jednym końcem do ściany i wprawianego w ruch czy drżenia elastycznej membrany bębna. Cechą charakterystyczną wszystkich fal poprzecznych jest to, że poszczególne cząsteczki ośrodka drgają w kierunku prostopadłym do kierunku rozchodzenia się samej fali.

Akustyka rządzi się jednak innymi prawami, ponieważ dźwięk jest falą podłużną. W tym konkretnym przypadku cząsteczki ośrodka nie poruszają się prostopadle do kierunku propagacji fali, ale zgodnie z tym kierunkiem. W praktyce dźwięk powstaje dlatego, że jakiekolwiek drgające ciało – czy jest to struna gitary, membrana głośnika, czy struny głosowe w krtani – działa jak miniaturowy, mechaniczny tłok pneumatyczny. Wykonując gwałtowne mikroruchy, ciało to wytwarza naprzemienne, seryjne zagęszczenia i rozrzedzenia otaczającego je powietrza. W kosmicznej próżni, gdzie gęstość materii wynosi praktycznie zero, ten tłok uderza w pustkę – nie ma tam ośrodka, który można zagęścić lub rozrzedzić.

Czy w kosmosie możemy słyszeć dźwięki?

Odpowiedź na postawione powyżej pytanie zależy od tego, gdzie te dźwięki miałyby się rozchodzić. Jeśli znajdujemy się w wypełnionym powietrzem pojeździe kosmicznym, to będziemy zupełnie normalnie słyszeć wszystko, co dzieje się wewnątrz tego pojazdu. Ale choćby na oczach załogi zderzały się dwie asteroidy, ostrzeliwały się kosmiczne krążowniki albo Księżyc pękał na kawałki – żaden dźwięk nie dotrze przez próżnię do takiego statku.

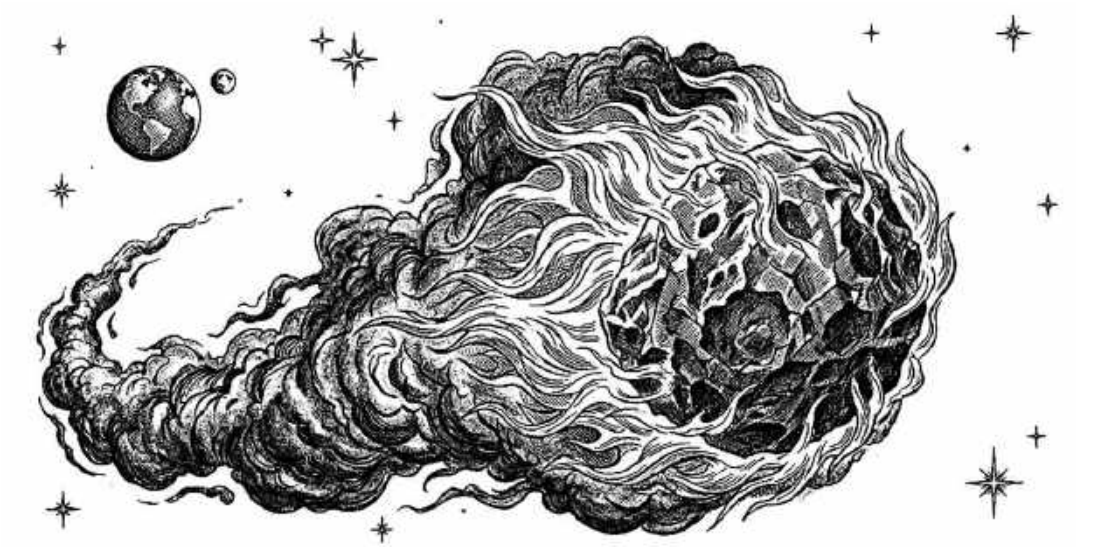
Również obserwatorzy stojący na powierzchni Ziemi lub innej planety byliby świadkami niemego spektaklu rozgrywającego się poza atmosferą. Aby dotarł do nich jakikolwiek dźwięk, w trakcie zachodzącego na ich oczach zjawiska musiałaby się wytworzyć ogromna ilość gazu i pod dużym ciśnieniem rozprzestrzenić się aż do miejsca, w którym stoją. Co w przypadku na przykład kosmicznych krążowników jest nierealne.

Uszkodzenie takiego pojazdu powoduje natychmiastowe wyssanie z niego powietrza (dekompresję). Uciekające cząsteczki gazów na zasadzie dyfuzji oddalają się od siebie na znaczne odległości i przestają między sobą oddziaływać. Nawet jeśli fizycznie pozostają w przestrzeni kosmicznej, trudno mówić o jakimkolwiek ośrodku, który mógłby przenosić dźwięk. Pomimo że próżnia nie jest idealnie pusta w dosłownym znaczeniu tego słowa, pod wieloma względami jest to twór statyczny.

Czy coś może płonąć w próżni?

I tu dochodzimy do bardzo ciekawego momentu. Jeśli obserwujemy pogodne niebo, to widzimy

eprasa.pl 360946405d



Rysunek 3. Z powodu braku tlenu żadne ciało kosmiczne nie może płonąć w próżni. Tego typu obrazki są czystą fantazją

wiele jasnych obiektów, takich jak Słońce, Księżyc, gwiazdy, planety, sztuczne satelity. Ale żaden z tych obiektów nie płonie w sensie utleniania jakiejś substancji chemicznej. Słońce i gwiazdy czerpią swoją energię z reakcji nukleosyntezy. Planety i satelity świecą z kolei światłem odbitym od Słońca.

Ktoś może powiedzieć, że część obiektów astronomicznych (meteory, małe asteroidy) i szczątków pojazdów kosmicznych spala się, spadając na Ziemię. Owszem, ale tu należy bardzo stanowczo postawić granicę pomiędzy próżnią kosmiczną a przestrzenią znajdującą się w obrębie ziemskiej atmosfery. Obiekty wpadające w obszar atmosfery nagrzewają się do ogromnych temperatur i w zależności od ich składu chemicznego mogą albo wyparować, albo spalić się poprzez reakcję z tlenem. Niemniej w przypadku „Gwiezdnych wojen" jasnym płomieniem płoną obiekty znajdujące się w kosmicznej próżni.

Przypomnijmy sobie na przykład Gwiazdę Śmierci i scenę jej zniszczenia. Obiekt ten został zbudowany jako bojowa stacja kosmiczna podobna z wyglądu do naturalnego księżyca i dorównująca rozmiarami tego typu ciałom. Kiedy zostaje zniszczona, na ekranie widzimy potężne, kłębiaste kule ognia płonące przez kilkanaście sekund i rozprzestrzeniające się we wszystkich kierunkach odłamki. Dla widza jest to wizualnie atrakcyjne... ale zupełnie nieprawdziwe z punktu widzenia fizyki.

Warto w tym miejscu uświadomić sobie, że proces spalania (ogień) bezwzględnie wymaga tlenu, aby zaszła reakcja chemiczna. W próżni kosmicznej, w ułamku sekundy po rozszczelnieniu takiej konstrukcji (albo kadłuba trafionego pociskiem statku) uciekający tlen momentalnie rozprasza się w nieskończonej przestrzeni. Eksplozja w kosmosie to zaledwie jedno gwałtowne błyśnięcie towarzyszące rozszerzeniu płonących gazów i natychmiastowe wygaszenie płomienia z powodu braku tlenu. W rzeczywistości nie zaobserwowalibyśmy żadnych widowiskowych pożarów.

Sprawdź, co potrafisz

Oceń, które z wymienionych dźwięków będą słyszalne we wnętrzu Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Uzasadnij swoją odpowiedź.

- ☐ A. Rozmowa załogi w sąsiednim pomieszczeniu.
- ☐ B. Przelot blisko znajdującego się satelity.
- ☐ C. Odgłosy naprawy poszycia stacji, dokonywanej na zewnątrz.
- ☐ D. Odgłos zderzenia się dwóch kosmicznych śmieci. ■

Joanna Borgensztajn

Odpowiedź prawidłowa: A, C

eprasa.pl 360946405d

Szkoła Wynalazców

dozwolone do lat 15

Tym razem zadanie z serii prostych i na ogół niedocenianych urządzeń, ale jak już są – okazuje się, że bardzo potrzebnych: zaproponować proste i lekkie urządzenie do zbierania z ziemi owoców, tak by nie być zmuszonym do działania w pochyleniu, niewygodnym i na dłuższą metę męczącym.

Widzimy często na ulicach i w parkach osoby zatrudnione przy zbieraniu śmieci, które posługują się przyrządem, posiadającym na końcu kijka dwie szczęki zamykane ruchem dźwigni przy rękojeści. Na oko jest to praktyczne i przydatne urządzenie, ale spróbujcie złapać szczękami na przykład niedopałek papierosa, co wymaga dość dokładnego ustawienia szczęk i w odpowiednim momencie naciśnięcia dźwigni. Praca tym sprzętem jest w zasadzie lekka, ale uciążliwa. Waszym zadaniem było spróbować zaproponować coś lepszego.

Jerzy Nowak – zaproponował coś w rodzaju kuli z cienkich drucików, która byłaby łożyskowana na końcu pręta prowadzącego. Druciki powinny się „rozjeżdżać" przy trafieniu na śmieć i zamykając się, ułatwić wrzucenie go do kosza. Jurek nadesłał również ideowy szkic urządzenia – **rysunek 1**.

1



Zdjęcie, jakie nadesłał Jurek, to po prostu ilustracja z jakiejś gazety lub z internetu, ale liczy się pomysł zastosowania tej idei do zadania zbierania śmieci. Ten sprzęt byłby jednak lepszy do zbierania owoców twardych, jak jabłka, gruszki i od biedy śliwki.

Iwona Krajewska – uważa, że śmieci nie wymagają jakiejś szczególnej delikatności w chwili ich zabierania z ziemi. Proponuje przyrząd podobny do znanego z parków i ulic, tylko że zamiast szczęk – zastosowanie dwóch szerokich „łapek" z kolcami, które zamykając się, zabierałyby śmieć do utylizacji. Takie łapki, mając nieco większą powierzchnię, ułatwiałyby łapanie drobnych śmieci bez konieczności starannego celowania.

Bardzo dobry pomysł. Oczywiście, nie musimy się „pieścić" ze śmieciami, natomiast musimy zadbać o łatwą i lekką pracę.

Roman Tarło – proponuje element czynny w formie walca o dość sporej średnicy; około 100...150 mm, zaopatrzony w „palce" z silikonu, osadzone przemiennie z palcami ze sztywniejszej gumy. Przejazd takim wałkiem po śmieciach powodowałby zabieranie ich z ziemi i wpadanie do odpowiednio podstawionej rynienki.

Pomysł ciekawy, choć wymagałby wykonania szeregu prób i doboru odpowiedniej sztywności obu rodzajów „palców" – jak zresztą wszystkie inne pomysły – śmieci to wysoka różnorodność materiału i formy, zatem sprzęt uniwersalny nie jest sprawą prostą.

Wymienionym kolegom i koleżance gratulujemy i zapraszamy do kolejnych zadań.

Nowe zadanie

Współczesny świat pomknął w informatyczną rzeczywistość z szybkością – chciałoby się rzec – „ponadświetlną". Wystarczy obejrzeć parę filmów, dotyczących na przykład katastrof lotniczych – ile elementów techniki jest

eprasa.pl 360946405d

potrzebne dla zapewnienia spokojnego lotu i jak ogromnie skomplikowane jest dziś prowadzenie samolotu na tle samolotów z ostatniej wojny światowej. Jednakże rzeczywistość co chwilę podsuwa tematy problemów prostych, a jednak do dziś nierozwiązanych. Jednym z takich problemów jest sprawa ławek w parkach. Ławka taka powinna jednak spełnić jeszcze kilka innych funkcji, jakich? To już będzie wasz problem. Zadanie można więc sformułować następująco: wymyśl nowoczesną ławkę parkową, która będzie przydatna nie tylko do siedzenia.

Nowoczesny, młody człowiek posługuje się sporą liczbą gadżetów i sprzętów, z którymi coś trzeba zrobić, odpoczywając na parkowej ławeczce. Trzeba gdzieś postawić rower lub hulajnogę, nieźle byłoby włączyć ładowanie komórki, dobrze byłoby mieć na takiej ławeczce dostęp do Wi-Fi itd. To wszystko jest z pozoru łatwe i proste, ale: mamy zimę, jesień, i niekiedy upalne lata i co wtedy? Nasza nowoczesna ławka musi to wszystko wytrzymać! Dlatego powinna mieć specjalną konstrukcję, odporną na nasz klimat. I na... ludzką głupotę.

Wszystkim życzymy dobrych pomysłów i ciekawych koncepcji. Termin nadsyłania propozycji: koniec grudnia bieżącego roku. ■

Klub Wynalazców

bez ograniczeń wieku

Na rozwiązanie zadanego wam problemu czekają tysiące osób, które gospodarzą we własnym mieszkaniu, to znaczy gotują, pieką placki itd. i... zapełniają swoje kosze na śmieci różnymi odpadkami. Przepisy sanitarne wymagają od nas segregacji śmieci. Jest to o tyle uciążliwe, ile ważne. W końcu nasza Ziemia zmieniłaby się w jeden ogromny śmietnik, więc coś trzeba z tym robić: zaproponować konstrukcję domowego lub biurowego kosza, który sam ułatwia segregację odpadów, ogranicza wydobywanie się zapachów i zmniejsza objętość śmieci, ale nie wykorzystuje zasilania elektrycznego.

Zadanie nie jest łatwe, ale w końcu mamy elektronikę, doświadczenie w automatyzacji, trzeba więc tę wiedzę wykorzystać i zrobić coś dobrego. Zobaczmy, co proponują nasi czytelnicy:

Miłosz Warecki – Miłosz znalazł gdzieś „w świecie" zdjęcie przedstawiające ideę kosza segregującego śmieci w trzech sekcjach – **rysunek 2**. Uważa tę ideę za bardzo dobrą, wartą dopracowania i uruchomienia w produkcji.

Jak widać, rysunek wszystko wyjaśnia: ruchem drążka pionowego powodujemy obrót i odsłonięcie się kolejnej sekcji kosza, napełniamy go i puszczamy drążek. Nie jest to w pełni automatyczny kosz, ale w znacznym stopniu ułatwiający gospodarkę śmieciową w domu. Istotnie jest to dobra idea: pozwala ograniczyć manipulacje ręczne do minimum, a przecież śmieci trzeba wrzucić, więc dodatkowy ruch drążka nie jest jakimś wybitnym utrudnieniem.


2

eprasa.pl 360946405d

Jerzy Machnik uważa, że wstępem do jakiejkolwiek mechanizacji lub nawet automatyzacji problemu śmieci, powinno być zmniejszanie objętości śmieci. Widzi to najprościej: po prostu każda sekcja miałaby dociskacz, opadający pod własnym ciężarem, wybór sekcji do otwarcia załatwiałyby piktogramy, umieszczone na pokrywach sekcji i to w zasadzie idea. Projekt – to już inna sprawa, ale wydaje się dość prosta.

Rzeczywiście minimalizacja objętości śmieci to bardzo istotny problem, który słusznie Jerzy zauważył. Bez tego ani rusz. W naszych blokowych kuchniach nie mamy zbyt wielkiej przestrzeni dla pomieszczenia kombajnu do śmieci.

Roman Głowacki – widzi ten problem zupełnie inaczej: uważa, że pojemnik na na przykład trzy zbiorniki, powinien być otwierany od przodu, a pojemnik powinien dać się wysunąć w poziomie, bez potrzeby dźwigania go z dołu do góry. Dalsza część to jednak też prasowanie śmieci i jakaś prosta sygnalizacja z pomocą piktogramów: „co mamy pod ręką".

Kolega podał istotną zasadę: ruch śmieci w poziomie zamiast z dołu do góry. Jest to słuszny kierunek, wyznaczający dalszy bieg sprawy. Idea wydaje się bardzo dobra.

Wymienionym kolegom gratuluję i życzę dalszych sukcesów w tej „małej, ale potrzebnej" mechanice.

Nowe zadanie

Tym razem zadanie, które w kręgu moich znajomych (nierozwiązane) spowodowało poważny uszczerbek na zdrowiu małego dziecka. Wszyscy znamy efekt zatrzaskiwania się drzwi pod wpływem przeciągu: drzwi jadą szybko i zatrzaskują się z hukiem i sporą siłą. Jeżeli ktoś się znajdzie w strefie obrotu drzwi: małe dziecko, zwierzę domowe: kot, pies – to nieszczęście gotowe. Należy z tym skończyć. Problem należy do raczej łatwych i możliwości działania jest wiele. Wasze zadanie można więc sformułować następująco: zaproponować konstrukcję zwykłych drzwi, które po przypadkowym zatrzaśnięciu nie przytrzaskują palców dłoni, a jednocześnie zachowują pełną funkcjonalność, trwałość i niski koszt wykonania.

Można tu podejść na kilka sposobów: zastosować automatykę, prosty mechanizm hamujący – jak we współczesnych deskach sedesowych – lub złożoną elektronikę. Jak zwykle, preferujemy jednak prostą, niezawodną mechanikę, nie ograniczając chęci sięgania po informatykę.

Przypominamy o terminie nadsyłania propozycji: koniec grudnia bieżącego roku. ■

Vademecum Młodego Wynalazcy

Historia techniki zna wiele cywilizacji, które pozostawiły po sobie wybitne osiągnięcia. Egipcjanie wznieśli piramidy, Grecy stworzyli podstawy matematyki i filozofii, Rzymianie budowali drogi i akwedukty. Jednak żaden kraj nie może poszczycić się tak długim i nieprzerwanym pasmem wynalazków jak Chiny. To właśnie tam powstały papier, druk, kompas i proch strzelniczy – cztery wynalazki, które w największym stopniu zmieniły historię świata.

Nie był to jednak przypadek. Chińczycy od najdawniejszych czasów kierowali się prostą zasadą: każdy problem można rozwiązać, jeśli odpowiednio długo się go obserwuje i cierpliwie nad nim pracuje.

Ogromne cesarstwo liczyło miliony mieszkańców. Trzeba było prowadzić ewidencję podatków, przechowywać dokumenty, organizować transport żywności, budować kanały i tamy, a także utrzymywać liczną armię. Każde z tych zadań rodziło nowe problemy, które wymagały praktycznych rozwiązań.

Kolejnym ważnym czynnikiem była niezwykła cierpliwość dawnych rzemieślników. W Chinach rzadko oczekiwano natychmiastowych rezultatów. Wynalazek często powstawał przez wiele pokoleń. Jeden mistrz ulepszał narzędzie stworzone przez poprzednika, jego uczeń dodawał kolejne usprawnienie, a dopiero po wielu latach rodziło się rozwiązanie, które przechodziło do historii.

Współcześni konstruktorzy mogliby wiele nauczyć się od dawnych Chińczyków. Zamiast szukać od razu rewolucyjnego pomysłu,

eprasa.pl 360946405d

warto najpierw bardzo dokładnie przyjrzeć się problemowi. Często najlepsze wynalazki rodzą się nie z nagłego olśnienia, lecz z setek drobnych ulepszeń.

Papier – wynalazek, który uwolnił wiedzę

Dziś trudno wyobrazić sobie świat bez papieru. Piszemy na nim, drukujemy książki, wykonujemy rysunki techniczne, pakujemy towary. Przez tysiące lat ludzie nie mieli jednak tak wygodnego materiału.

W Chinach początkowo pisano na bambusowych listewkach. Były trwałe, ale bardzo ciężkie. Książka zawierająca kilkaset stron ważyła nawet kilkadziesiąt kilogramów. Bogatsi urzędnicy używali jedwabiu, lecz był on niezwykle kosztowny. Problem był oczywisty – potrzebny był materiał lekki, tani i łatwy do wykonania. Przez wiele lat próbowano wykorzystywać włókna roślin, stare szmaty i korę drzew. Powstające arkusze były jednak nierówne i łatwo się rozpadały. Przełom nastąpił około 105 roku naszej ery, kiedy urzędnik cesarski Cai Lun zebrał doświadczenia wielu papierników i udoskonalił cały proces produkcji. Zamiast drogich materiałów wykorzystał korę morwy, stare sieci rybackie, konopie oraz zużyte tkaniny. Wszystkie składniki rozdrabniano, gotowano, rozbijano na włókna i mieszano z wodą. Następnie cienką warstwę masy nabierano na sito. Po odsączeniu wody pozostawał lekki arkusz papieru.

Największą zasługą Cai Luna nie było samo wynalezienie papieru, lecz opracowanie technologii umożliwiającej jego tanią produkcję na dużą skalę. Dzięki temu książki, dokumenty i mapy stały się znacznie tańsze. Papier okazał się wynalazkiem, który zmienił historię ludzkości bardziej niż wiele spektakularnych maszyn. Bez niego nie byłoby później druku, gazet, podręczników ani nowoczesnej edukacji.

Druk – pierwsza rewolucja informacyjna świata

Kiedy pojawił się papier, szybko ujawnił się kolejny problem. Książki nadal trzeba było przepisywać ręcznie. Doświadczony kopista potrzebował nawet kilku miesięcy na przepisanie jednej większej księgi. Każdy egzemplarz różnił się od pozostałych, a błędy były nieuniknione.

Chińscy rzemieślnicy zaczęli więc zastanawiać się, czy można byłoby odbijać tekst wielokrotnie. Najpierw wycinano całe strony w drewnianych deskach. Powstawały tak zwane drzeworyty. Po pokryciu farbą można było odbić setki identycznych egzemplarzy tej samej strony. Technika ta rozwinęła się szczególnie w epoce dynastii Tang. Po pewnym czasie zauważono jednak kolejną niedogodność. Jeśli w tekście pojawił się choć jeden błąd, należało wyrzeźbić całą deskę od początku. Około XI wieku Bi Sheng wpadł na pomysł, genialny w swojej prostocie. Zamiast rzeźbić całe strony, wykonał pojedyncze znaki z wypalanej gliny. Można je było dowolnie układać, rozbierać i ponownie wykorzystywać do składania następnych tekstów. Była to pierwsza na świecie ruchoma czcionka. Choć alfabet chiński liczył tysiące znaków i technologia nie rozpowszechniła się tak szybko jak później w Europie, sam pomysł wyprzedzał epokę o kilkaset lat. Historia druku pokazuje, że wielkie wynalazki często powstają poprzez usuwanie kolejnych niedogodności poprzedniego rozwiązania.

Kompas – wynalazek, który otworzył oceany

Przez tysiące lat żeglarze orientowali się według położenia Słońca, Księżyca i gwiazd. Gdy niebo zakrywały chmury, łatwo było zgubić właściwy kierunek.

Chińczycy od dawna znali niezwykły minerał – magnetyt. Zauważyli, że odpowiednio zawieszony zawsze ustawia się w tym samym kierunku.

Początkowo wykonano z niego tak zwaną „południową łyżkę" – **rysunek 3**, która obracała się na gładkiej płycie z zaznaczonymi kierunkami świata. Służyła głównie do wróżb i planowania budowli. Dopiero później odkryto, że znacznie wygodniejsza jest namagnesowana igła pływająca na wodzie lub zawieszona na cienkiej nici.

Do takiego rozwiązania nie doszło nagle. Przez wiele dziesięcioleci eksperymentowano z różnymi materiałami, sposobami namagnesowania oraz konstrukcją urządzenia. Każda kolejna wersja była dokładniejsza od poprzedniej.



3

eprasa.pl 360946405d

W czasach dynastii Song, kompas stał się podstawowym wyposażeniem statków handlowych. Pozwalał bezpiecznie żeglować nawet podczas mgły i zachmurzenia. Gdy technologia ta dotarła później do Europy, umożliwiła wielkie wyprawy geograficzne Krzysztofa Kolumba i Vasco da Gamy.

Jest to doskonały przykład wynalazku, który początkowo miał zupełnie inne zastosowanie, niż to, z którego zasłynął.

Proch strzelniczy – przypadkowy wynalazek, który zmienił historię wojen

Nie wszystkie wielkie wynalazki rodzą się zgodnie z planem. Czasami ich twórcy szukają czegoś zupełnie innego. Tak właśnie było z prochem strzelniczym.

Chińscy alchemicy od wieków próbowali odnaleźć eliksir nieśmiertelności. Mieszali setki różnych substancji, ogrzewali je i obserwowali zachodzące reakcje.

Podczas jednego z takich doświadczeń odkryli, że mieszanina saletry, siarki i węgla drzewnego po zapaleniu gwałtownie się spala. Zamiast środka zapewniającego wieczne życie otrzymali materiał o ogromnej sile wybuchowej. Początkowo proch wykorzystywano do fajerwerków oraz widowisk religijnych. Dopiero później zauważono jego zastosowanie militarne. Powstawały ogniste strzały, bomby, rakiety, a następnie pierwsze działa.

Droga od przypadkowego odkrycia do praktycznego zastosowania trwała kilkaset lat. Każde pokolenie dodawało nowe pomysły, zwiększało bezpieczeństwo produkcji i udoskonalało broń. Historia prochu uczy jeszcze jednej ważnej rzeczy. Wynalazca nie zawsze znajduje to, czego szuka. Czasem najcenniejszym odkryciem okazuje się zupełnie nieoczekiwany rezultat eksperymentu. Wielu współczesnych wynalazków również nie byłoby, gdyby ich twórcy nie potrafili dostrzec wartości w pozornie przypadkowych obserwacjach.

Kusza powtarzalna

Wydaje się, że po prochu, następnym wynalazkiem chińskim powinna być kusza i kusza powtarzalna – **rysunek 4**.

Zdjęcie bardzo dobrze ilustruje zasadę działania kuszy i widać, że było to narzędzie – jak zwykle – z wadami i zaletami. Z takiej kuszy nie

4



można było strzelać na zbyt duże odległości, ponieważ droga napinania cięciwy dźwignią była na to za krótka. Celowanie było utrudnione, zaletą była duża szybkostrzelność, co dawało tej kuszy przewagę w starciach obronnych, na przykład z murów zamków. Ta kusza jednak stanowiła ideę przyszłej broni palnej z karabinkami powtarzalnymi i maszynowymi.

Wynalazek często zaczyna się od obserwacji zjawiska, którego człowiek jeszcze dobrze nie rozumie

Najpierw pojawia się pytanie: „Dlaczego tak się dzieje?”

Potem: „Czy można to wykorzystać?”

A dopiero później: „Jak zbudować urządzenie, które będzie wykorzystywało to zjawisko w sposób kontrolowany?”

Tak właśnie nauka przechodzi w technikę. Czasem najciekawszym wynikiem eksperymentu jest właśnie to, czego nie planowaliśmy. Trzeba jednak pamiętać, że rozwój na przykład prochu miał również bardzo ciemną stronę. Technologie opracowane początkowo dla innych celów zostały wykorzystane w działaniach wojennych. Jest to jeden z najstarszych przykładów problemu, który pozostaje aktualny także dzisiaj: Nie ma na to prostej odpowiedzi. Historia prochu pokazuje natomiast, że każdy wielki wynalazek może mieć zarówno zastosowania pożyteczne, jak i niszczące. Na zakończenie warto przyjrzeć się grupie wynalazków, które często pozostają w cieniu papieru, druku, kompasu czy prochu. Chodzi o chińskie mechanizmy automatyczne, zegary, urządzenia hydrauliczne i maszyny wykorzystujące ruch. To właśnie tutaj możemy zobaczyć coś

eprasa.pl 360946405d

szczególnie bliskiego współczesnemu myśleniu wynalazczemu. Człowiek od zawsze chciał nie tylko wykonywać pracę szybciej, lecz także przenieść część pracy na urządzenie.

Jednym z najbardziej fascynujących przykładów jest działalność chińskiego uczonego i konstruktora Su Songa, żyjącego w XI wieku.

Su Song był uczonym, astronomem, inżynierem i autorem niezwykle zaawansowanego zegara astronomicznego.

W latach 1088–1092 powstała monumentalna wieża zegarowa wyposażona w skomplikowany mechanizm. Urządzenie wykorzystywało między innymi koła zębate, napęd wodny i mechanizm wychwytowy regulujący ruch. W wieży znajdowały się również elementy wskazujące czas i przedstawiające zjawiska astronomiczne. Był to przykład niezwykle zaawansowanej automatyzacji. Woda nie była już tylko substancją do transportowania lub nawadniania pól. Jej przepływ został wykorzystany jako źródło energii mechanicznej.

To ważna idea wynalazcza: energia znajdująca się w otoczeniu człowieka może zostać przejęta przez mechanizm i zamieniona w użyteczną pracę.

Chińscy konstruktorzy rozwijali również urządzenia hydrauliczne, pompy, młyny i różnego rodzaju mechanizmy. Już wcześniej powstawały urządzenia pozwalające podnosić wodę na wyższy poziom. Stosowano koła wodne i urządzenia wykorzystujące siłę mięśni ludzi lub zwierząt. Wszystkie te konstrukcje miały wspólną cechę. Zamiast zmuszać człowieka do wykonywania całej pracy, przekazywano część wysiłku maszynie.

To jest właściwie fundament całej późniejszej rewolucji przemysłowej. Maszyna nie musi być skomplikowana. Jej istota polega na tym, że potrafi wykorzystać energię i odpowiednio ją przekształcić. Możemy wyobrazić sobie prosty przykład.

Człowiek chce podnieść ciężki przedmiot. Może użyć własnych mięśni. Ale jeśli zastosuje dźwignię, potrzebuje mniejszej siły. Jeśli zastosuje koło, zmieni sposób przyłożenia siły. Jeśli zastosuje przekładnię, może wymienić prędkość na siłę. Jeśli wykorzysta wodę, wiatr albo zwierzę, część pracy wykonuje za niego inne źródło energii. Tak właśnie rodzi się myślenie mechaniczne. Chińscy konstruktorzy potrafili tworzyć urządzenia o zadziwiającym stopniu komplikacji. Niektóre mechanizmy służyły astronomii, inne odmierzaniu czasu, jeszcze inne rolnictwu, transportowi czy produkcji. Ich rozwój pokazuje, że wynalazczość nie polega wyłącznie na wymyślaniu nowych przedmiotów. Czasami znacznie ważniejsze jest nowe połączenie znanych elementów. Koło zębate samo w sobie nie musi być wielkim wynalazkiem. Dźwignia też nie musi nim być. Woda również nie jest wynalazkiem. Ale kiedy połączy się odpowiednie elementy w jeden mechanizm, może powstać urządzenie wykonujące czynności, których człowiek wcześniej musiał dokonywać własnymi rękami. I właśnie dlatego chińskie osiągnięcia mechaniczne zasługują na miejsce obok najbardziej znanych wynalazków.

Zakończenie: czego możemy nauczyć się od chińskich wynalazców?

Historia chińskiej wynalazczości jest znacznie bogatsza niż lista kilku słynnych wynalazków. Papier, druk, kompas, proch czy mechanizmy automatyczne są tylko najbardziej znanymi przykładami ogromnego dorobku technicznego. Najciekawsze jest jednak coś innego. W wielu przypadkach chińskie wynalazki nie narodziły się z jednego olśnienia.

Były wynikiem obserwacji, kolejnych prób, błędów, ulepszeń i łączenia wcześniejszych doświadczeń. Papier powstał z poszukiwania lepszego materiału do pisania. Druk był odpowiedzią na problem powolnego kopiowania tekstów. Kompas wyrósł z obserwacji niezwykłych właściwości magnetytu. Proch pojawił się podczas eksperymentów alchemicznych. Mechanizmy automatyczne były konsekwencją dążenia do wykorzystania energii i ograniczenia ludzkiego wysiłku. W każdym z tych przypadków można znaleźć podstawowy schemat procesu wynalazczego: Bo bardzo często droga do wielkiego wynalazku zaczyna się od małego pytania:

A co by było, gdyby zrobić to zupełnie inaczej? ■

Prezes Klubu Wynalazców
Champion TRIZ
Jan Boratyński

eprasa.pl 360946405d

Modelarskie krosna ZPT



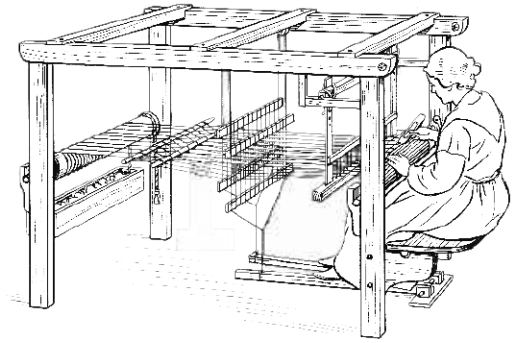
Dziś „Na warsztacie” popracujemy nad jednym z najstarszych urządzeń stworzonych przez człowieka – wykonamy miniaturowy model bardzo prostego krosna, na którym można będzie wykonać miniaturowy dywanik, choćby dla minifigurek w skali „L”. Temat jest na tyle kompaktowy, że nadaje się również do przywróconych właśnie zajęć praktyczno-technicznych w szkołach podstawowych – utkanie bowiem tak niedużego „dywanika” nie potrwa dłużej niż 2 lekcje.

Nieco o długiej historii tkactwa

Powiadają (vide https://tiny.pl/tp2-dg2sd), że tkactwo może być starsze niż rolnictwo, pismo oraz koło – i pochodzić z czasów, w których po Ziemi chodziło kilka różnych gatunków (sic!) ludzi; kiedy uczono się dopiero skutecznie grupowo polować na mamuty i renifery, a z ich kości uczono się tworzyć pierwsze pozajaskiniowe schronienia oraz coraz bardziej precyzyjne narzędzia (ostrza, igły, itp.). Pośredni dowód na to znaleziono w jaskini Dzudzuana w Gruzji, zupełnie przypadkiem, badając pyłki prehistorycznych roślin. Wtedy to odkryto włókna lniane datowane na ok. 34 000 lat! Oczywiście tak stary materiał rozsypał się i nie da się dziś dowieść, że te barwione, skręcane i wiązane resztki nici na pewno były tkaniną – ale na pewno to mocno intrygująca poszlaka.

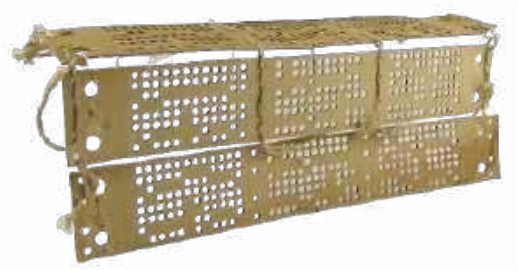


Fragment greckiej urny w Metropolitan Museum, przedstawiający proces produkcji tkaniny, od przędzenia nici lub przędzy do gotowego tkanego elementu. Detal przedstawia krosno z obciążeniem osnowy



Rysunek liniowy prostego krosna pedałowego z dwoma nicielnicami. Osnowa jest oznaczona. Przedstawia nawój osnowy, pręty osnowy (=pręty nicielnicowe), nicielnice połączone za pomocą bloczka nad głową, pedały, zawieszony bijak z płochą, czółenko (w ręku tkacza) oraz siedzisko tkacza. Pod belką osnowy znajduje się również koryto, prawdopodobnie na strzępki?

eprasa.pl 360946405d



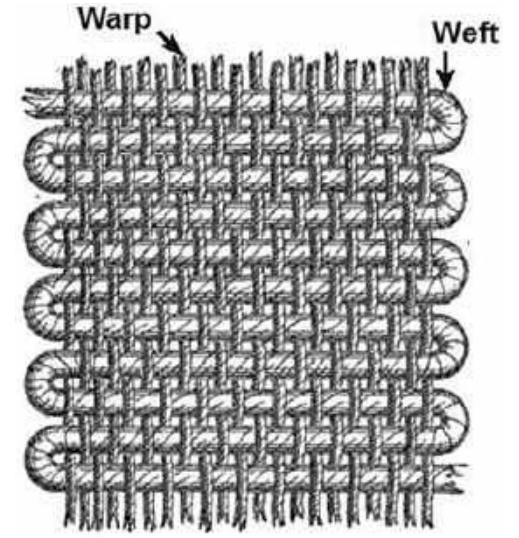
Widok z bliska na karty perforowane używane w krośnie żakardowym, eksponowane w Muzeum Nauki i Przemysłu w Manchesterze w Anglii

Najstarsze tkaniny z klasyczną osnową i wątkiem (już bez cienia wątpliwości), pochodzące sprzed ok. 9 tys. lat, odnaleziono na terenach dzisiejszej Turcji, choć warto zaznaczyć, że umiejętność tkania materiałów rozwijała się niezależnie w wielu częściach świata.

8 tys. lat temu pojawiły się produkty tkactwa tabliczkowego (służącego do wyrobu ozdobnych pasów i krajek).

6 tys. lat liczą sobie pierwsze dowody tkactwa na terenach Polski.

5 tys. lat temu w Chinach rozpoczęto produkcję jedwabiu (delikatne i bardzo długie nici jedwabne uzyskuje się z kokonów gotowanych gąsienic jedwabników morwowych).



Przędze osnowy i wątku w tkactwie (źródło: By Alfred Barlow, Ryj, PKM – Adapted from The History and Principles of Weaving by Hand and by Power by , 1878, S. Low, Marston, Searle & Rivington, London., CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=94725908)



Portret Josepha Marie Jacquard (1752-1834), francuskiego mechanika, wynalazcy krosna. Chromolitografia z końca XIX wieku



Jan Szczepanik

eprasa.pl 360946405d

W średniowieczu stosowano już nożne krosna poziome, co znacznie przyspieszyło proces tkania i pozwoliło na produkcję szerszych oraz dłuższych kuponów (formatek) materiału.

W 1785 roku Edmund Cartwright skonstruował krosno mechaniczne, które następnie udoskonalał.

W 1804 roku krosna udoskonalił Joseph Marie Jacquard. Wprowadził on sterowane kartami perforowanymi krosna, umożliwiające automatyczne tkanie skomplikowanych, wielobarwnych wzorów. Można powiedzieć, że były to pierwsze „analogowe plotery" (notabene, kartonowe karty perforowane były nośnikami danych w komputerach IBM aż do 1985 r. (sic!)). Mechanizacja procesu wielokrotnie zwiększyła wydajność produkcji, a tkaniny stały się wreszcie tańsze.

Warto tutaj wspomnieć również o Janie Szczepaniku, który na przełomie XIX i XX w. zrewolucjonizował tkactwo, automatyzując i ponad dziesięciokrotnie przyspieszając proces produkcji wielobarwnych tkanin i gobelinów.

W związku z kolejną automatyzacją procesu tkania stopniowo zaczęło znikać ręczne tkactwo w domach i niewielkich warsztatach. W Europie (w tym w Polsce) ręczne krosna pozostały jednak jeszcze do pierwszej połowy XX wieku.

Dziś ręczne tkactwo to raczej hobby, rzadziej sztuka. Niektórzy twierdzą nawet, że przeżywa właśnie swój renesans. Jakby nie patrzeć, tkactwo to znacznie więcej niż sposób wytwarzania tkanin. Można śmiało powiedzieć, że to utkana historia ludzkiej pomysłowości i cierpliwości, rozwijanej i przekazywanej przez tysiąclecia z pokolenia na pokolenie.

Modelarskie krosienko „zrób to sam"

Wprawdzie jesteśmy już po Dniu Tkacza/czki (zawsze w pierwszą sobotę października), ale tkanie zwykle było zajęciem na sezon zimowy, kiedy ustawały prace w polu, więc mimo wszystko możemy powiedzieć, że teraz jest na nie dobra pora.

Istnieje wiele dostępnych w handlu krosien dla dzieci – niestety, w kontekście zajęć dla grup szkolnych mają sporo istotnych wad. Pomijając wysoką cenę nawet za najprostsze z nich, problemem jest tak wielkość (uniemożliwiająca ukończenie pracy podczas jednych zajęć), jak i sposób zdejmowania i zamykania krawędzi tkanego materiału (nieściągalne, albo wymagające osobnego zamykania krawędzi obszyciem



Zestaw do tkania tablicowego w stylu wikingów

lub wiązaniem nici osnowy w jednej linii – praktycznie niewykonalne dla przeciętnego dziewięcio- lub dziesięciolatka).

Autor od wielu lat prowadzi również zajęcia techniczne dla szkół – i wielokrotnie prowadził dwulekcyjne zajęcia z tkactwa dla klas 3 SP. Dzisiejszy model czerpie z doświadczeń tych zajęć. Jest opracowany do samodzielnego wykonania z najprostszych materiałów i przy wykorzystaniu najprostszych narzędzi w domu (czyli raczej na szóstkę z przedmiotu niż jako zestawy materiałowe dla całej klasy).

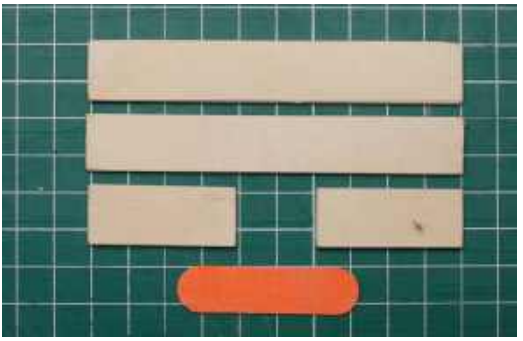
Wielkość tego krosna dopasowana jest jednak do możliwości bardzo młodych tkaczy/ek oraz czasu przeznaczonego na typowe zajęcia praktyczno-techniczne. Podczas dwóch lekcji dzieci są w stanie utkać dywanik dla minifigurek, makatkę lub gobelin o powierzchni znaczka pocztowego lub małego pudełka zapałek. Dodatkowo możliwość uniknięcia wiązania serii supełków w ściśle określonej linii (w przypadku makatki) wyraźnie poprawi statystyki dobrze wykonanych prac w czasie zajęć.

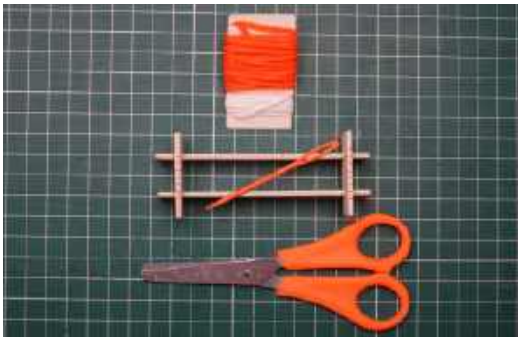
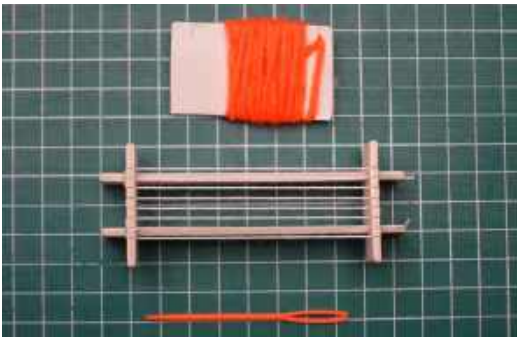
Podstawowym materiałem do budowy tanich szkolnych krosienek może być trzymilimetrowa sklejka „cytrusowa" (tzn. uzyskiwana z jednorazowych skrzynek po owocach cytrusowych). Do rozmontowania skrzynek na płaskie formatki wygodnie użyć płaskiego wkrętaka i obcęgów.

Prócz tego do wykonania krosienka przydadzą się: linijka (lepiej metalowa), nożyk segmentowy (do tapet), niedroga prosta piłka o drobnych ząbkach (np. do metalu, ew. modelarska), pilniczek igłowy prostokątny, bloczek ścierny, taśma papierowa do zabezpieczenia krawędzi sklejki przy wycinaniu, klej do drewna, podkładka do cięcia nożykiem. Małe imadełko nie jest wprawdzie konieczne, ale może ułatwić obróbkę elementów ramy.

Tak prosty model krosna można wykonać z czterech sklejkowych listew o jednakowej

eprasa.pl 360946405d

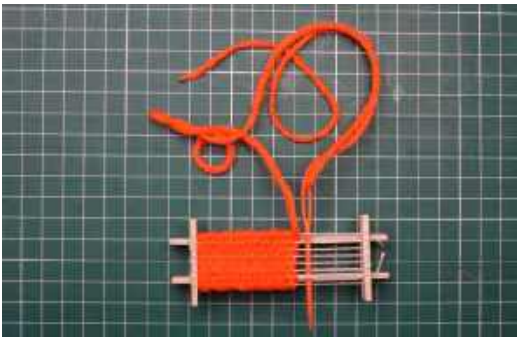
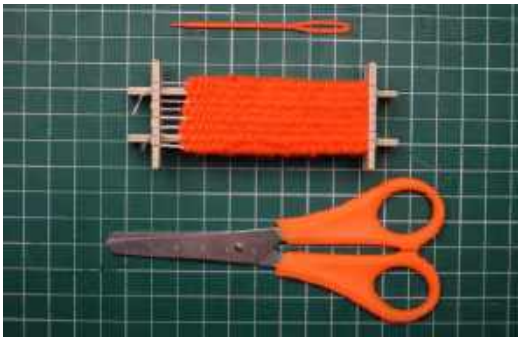




szerokości (opcjonalnie – od 10 do 15 mm) [fot.]. We wszystkich z nich należy w jednakowych odległościach od krawędzi wyciąć (piłką, nożem, pilnikiem) sloty 3×6 mm, pozwalające docelowo ciasno złożyć wszystkie elementy w jedną ramę. Dodatkowo w krótszych listwach, po przeciwległej stronie potrzebnych będzie 8 do 10 nacięć (wykonanych piłą o drobnych zębach), które posłużą później do osadzenia osnowy. Choć całość można skleić, rekomenduję pozostawić jeden krótszy bok jedynie wciśnięty. Pozwoli to łatwiej zdjąć ukończony wyrób z tego krosna [fot.].

Tkamy dywanik dla minifigurek

Mając już krosno, możemy przystąpić do pracy nad tkaniną. Z materiałów polecam mocną nić na osnowę i kolorową włóczkę średnicy 2...3 mm jako wątek (raczej jeden kolor – zabawę w bardziej skomplikowane wzory i ściegi lepiej pozostawić chętnym na kolejne próby już po lekcji). Przy tak małej powierzchni i liczbie nici celowo zrezygnowano z czółenka i nicielnicy (lub jej analogów), dobijaka itp. – zamiast nich wystarczy plastikowa igła z dużym oczkiem (w razie jej braku można użyć nawet spinki do włosów lub odpowiednio ukształtowanego i zespojonego kawałka drutu ze spinacza biurowego). Z mniej oczywistych materiałów wykorzystamy też klej (do nici bawełnianych klej typu wikolowego lub „Magic", do syntetycznych polimerowy). Nożyczki dopełniają całości niezbędnego wyposażenia [patrz fotografie].

eprasa.pl 360946405d



Prace tkackie rozpoczyna nawinięcie osnowy na ramę krosna. Aby uniknąć wiązania osnowy na końcach tkaniny, końcowe fragmenty nici łączy się klejem z drugą i przedostatnią nicią osnowy [fot.]. Po nawleczeniu włóczki na igłę można rozpocząć tkanie. Najlepiej zacząć od najprostszego splotu płóciennego [fot.]. Początek wątku (a w przyszłości również kolejne odcinki – np. o innym kolorze) można np. ukryć dublując ich fragment ze skrajną nicią osnowy. Koniec również można przepleść przez wykonane skrajne zakręty wątku, ale wymaga to igły o raczej wąskim oczku. Prostszą alternatywą tak na początek, jak koniec włóczki jest pozostawienie jej prostopadle do wątku pomiędzy nićmi osnowy.

Zakończenie pracy na tak radykalnie uproszczonym modelu krosna wymaga najpierw mocnego dobicia włóczki do krawędzi startowej, tak by po przeciwległej stronie pozostało ok. 8...10 mm wolnej przestrzeni z samą osnową. Po ściągnięciu osnowy tej strony z krosna (pomaga odpięcie poprzecznego elementu ramy) należy przesunąć włóczkę do zakończeń (końcowych pętli) osnowy oraz zluzować początkową krawędź tkaniny. Pozwoli to łatwiej zdjąć osnowę dywaniku z nacięć krawędzi początkowej. Na koniec trzeba jeszcze wyrównać zagęszczenie splotów utkanego wyrobu na całej jego długości, ewentualnie dociąć wystające luźne końcówki wątku bądź osnowy.

Modyfikacje i zestawy materiałowe do zajęć szkolnych (ZPT)

Opisany w bieżącym wydaniu model można, rzecz jasna, modyfikować stosownie do potrzeb i możliwości prefabrykacyjnych. Można w pewnym zakresie zmieniać wymiary ramy przy zachowaniu tej samej szerokości elementów (do opasek na rękę, szalików dla misiów, krosno musi być dłuższe). Można zmienić materiał (np. na tworzywo sztuczne – szczególnie, kiedy można użyć filamentu i druku 3D). Można dodać usprawnienia znane z bardziej rozbudowanych modeli krosien. Można także zamówić zestawy materiałowe dla całej klasy – co komu najbardziej potrzebne.

Niezależnie, wszystkim wykonawcom i użytkownikom krosien opisanych w tym artykule życzę satysfakcji z własnej pracy (w tym niegubienia wątku), a chętnych do podzielenia się obrazem efektów swojej pracy (ew. wątpliwościami, które w miarę swoich możliwości postaram się rozwiać) zapraszam do kontaktu via pandobromir@gmail.com. ■

P. Dobromir

eprasa.pl 360946405d

Genialne w swej prostocie: **5 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.

Aleksander Sikora pisze: „Wpadłem na pomysł, gdy zobaczyłem zakupioną przez mamę odżywkę do domowego storczyka, w formie aplikatora, który jest zakończony igłą o małej średnicy, zapewniającą powolne ściekanie odżywki. Ten aplikator wbija się w ziemię, działa długo, a ideę tego można zastosować do podlewania. Najważniejsze w tym wszystkim jest to, aby kwiaty nie uschły, nie zmarniały i aby jakoś przeżyły do powrotu domowników. Większe doniczki potrzebują więcej wody, a więc i aplikatory powinny być większe".

Sama idea dozowania wody ze zbiornika poprzez igłę wydaje się najprostsza i słuszna. Oczywiście wiele zależy od doboru wielkości pojemnika na wodę i otworu igły, ale to wszystko da się łatwo doświadczalnie ustalić. Bardzo dobry pomysł!

Tadeusz Zamorski – wobec upałów – takich jak na początku sierpnia bieżącego roku – uważa, że tak zwane „kurtyny wodne" są nieskuteczne i zamiast tego proponuje po prostu dachy, oparte na jednym słupie – jak parasole, o powierzchni około 10...12 metrów kwadratowych i dodatkowo rozpylające lekką mgłę wodną, niemoczącą odzieży, a jedynie zwilżającą ciało i ubranie.

Nie wiadomo, dlaczego władze różnych miast z upodobaniem stosują kurtyny, zamiast wspomnianych przez kolegę daszków, które byłyby bezpieczniejsze i skuteczniejsze od „mgły," a poza tym nie moczyłyby ubrań.

Piotr Wojciechowski zaniepokoił się wzrastającą liczbą przypadków utonięć różnych osób w różnych zbiornikach wodnych. Uważa, że w dobie powszechności stosowania dronów można ten problem rozwiązać bardzo łatwo. Wystarczy jeden dron patrolujący na przykład morze wzdłuż plaży i reagujący na niestandardowe zachowanie się człowieka w wodzie. Dron mógłby opuścić koło ratunkowe i jednocześnie podać sygnał do centrum ratownictwa oraz współrzędne określające położenie tonącego.

Rzeczywiście: różne państwa używają drogich dronów do wzajemnego mordowania swoich żołnierzy, a o dronach ratunkowych jakoś mało się mówi i pisze. Taki dron-ratownik byłby rzeczywiście doskonałym rozwiązaniem trudnego problemu.

Waldemar Zabłocki – po upałach sierpniowych uważa, że najwyższy czas uświadomić sobie, że podobne upały będą się powtarzać. Proponuje opracowanie i produkcję kamizelek chłodzących dla seniorów i seniorek, czyli kamizelek o podwójnych ściankach, wypełnionych substancją zmiennofazową. Gdy sygnał elektroniczny zasygnalizuje taką konieczność, to kamizelka nadyma się, chłodzi i jednocześnie wysyła sygnał do centrum lub do bliskiej osoby, że senior rodziny jest w niebezpieczeństwie.

Są już w sprzedaży zegarki „bezpieczeństwa," które sygnalizują bliskiej osobie na przykład upadek starszego pana. Opracować sprzęt kontrolujący pracę serca i temperaturę ciała byłoby dziś dość łatwo: zaprojektować i wyprodukować. Pomysł dobry, z tych drobnych, ale pożytecznych gadżetów.

Stanisław Przybylski – myślał o zastosowaniu dronów do nadzorowania kąpielisk, ale uznał, że dron wymaga zasilania, żeby w ogóle utrzymać się w powietrzu. Uważa więc, że lepsza będzie inteligentna boja z niewysokim masztem – tak na 1,5 metra, która w razie stwierdzenia nietypowego zachowania się osoby pływającej da sygnał, dopłynie z kołem ratunkowym i poda współrzędne tonącego.

Staszek słusznie zauważył, że dron musi mieć zasilanie, a bojka pływająca – nie. Wobec potrzeby wielogodzinnego patrolowania kąpieliska oczywista byłaby wyższość bojki nad dronem. ■



eprasa.pl 360946405d



ODKRYJ HISTORIĘ WYNALAZKÓW

Windy i dźwigi osobowe

Windą jeździmy codziennie i nie wiemy o niej nic. Ma napęd, którego nie widać, przeciwwagę, o której nikt nie myśli, i hamulec, który ma zadziałać dokładnie wtedy, gdy zawiedzie wszystko inne. A jej historia zaczyna się nie w wieżowcu, tylko w traktacie Witruwiusza i pod areną Koloseum.

ok. 30–20 p.n.e. – Witruwiusz w dziesiątej księdze dzieła „O architekturze" opisuje maszyny dźwigowe z wielokrążkiem: trójbloczkowy trispastos, pięciobloczkowy pentaspastos i wielobloczkowy polyspaston. W trzecim rozdziale tej samej księgi wyjaśnia zasadę dźwigni i krążka, na której te maszyny stoją. Archimedesa przy nich nie wymienia – przypisanie mu „pierwszego dźwigu" nie ma pokrycia w żadnym źródle antycznym.

I w. n.e. – Rzymski kołowrót deptakowy, czyli wielkie koło, w którym ludzie idą po wewnętrznej bieżni, znamy z dwóch reliefów z tego stulecia; jeden z nich pochodzi z grobowca Haterii i jest dziś w zbiorach watykańskich.

80 r. n.e. – Koloseum zostaje otwarte, ale jego podziemia są jeszcze drewniane, a końcowe galerie służą jako baseny do inscenizowanych bitew morskich.

koniec I w. – Za panowania Domicjana drewniane podziemia Koloseum zostają przebudowane na murowane. Dopiero to pozwala zainstalować tam maszyny podnoszące na stałe; znikają wtedy także widowiska z użyciem wody.

od 1996 r. (badania współczesne) – Heinz-Jürgen Beste z Niemieckiego Instytutu Archeologicznego w Rzymie, badając podziemia Koloseum, odtwarza układ dwukondygnacyjnych kabestanów, które wyciągały na arenę klatki ze zwierzętami, oraz mniejszych platform pracujących przy krawędzi areny na linach i przeciwwagach.

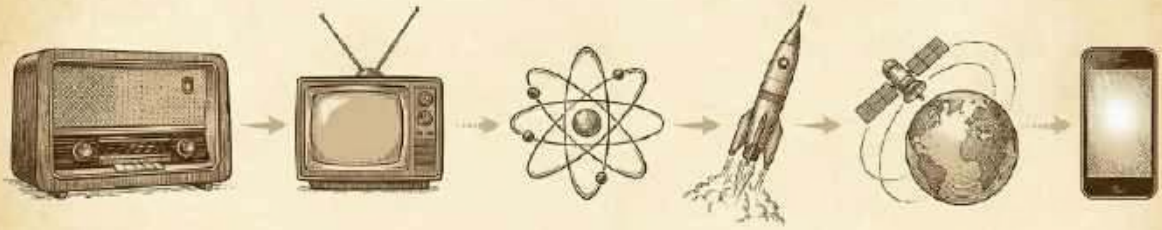
ok. 1225 r. – Pierwsza archiwalna wzmianka o kole deptakowym, nazywanym w źródłach magna rota, pochodzi z Francji.

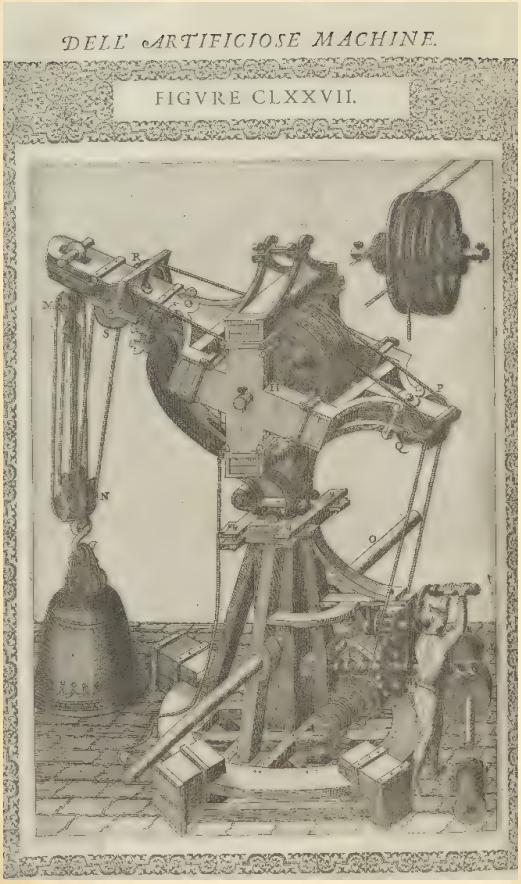
ok. 1240 r. – Powstają najstarsze znane wyobrażenia takiego koła, między innymi scena budowy wieży Babel w iluminowanym rękopisie zwanym Morgan Old Testament, u nas znanym jako Biblia Maciejowskiego. Średniowieczne koła miały od 4,3 do 4,9 metra średnicy przy wale o średnicy około 30 centymetrów, co daje przełożenie od czternastu do szesnastu do jednego; hamulcem był klin zapierany między koło a podłogę.

1743 r. – Machinista Blaise-Henri Arnoult buduje w Wersalu kabinę dla księżnej de Châteauroux, zwaną latającym krzesłem. Trzy grube liny łączą ją przez wielkie koło na szczycie budynku z przeciwwagą, a stała lina przechodząca przez kabinę pozwala pasażerce wciągać się bez wysiłku. Źródła nie znają innego osiemnastowiecznego latającego krzesła w Wersalu.

1745 i 1754 r. – Z kabiny zaczyna korzystać markiza de Pompadour, która przejmuje apartament po poprzedniczce, a w 1754 roku urządzenie przenoszą do Fontainebleau. Stąd obiegowa nazwa „fotel Pompadour" – myląca, bo kabinę zbudowano dwa lata przed jej przeprowadzką i dla kogo innego.

eprasa.pl 360946405d





Ramelli, atlas maszyn, 1588 – koła deptakowe i wielokrążki. Sto dziewięćdziesiąt pięć miedziorytów maszyn dźwigowych, wciągników, kół i przekładni, rysowanych tak, że do dziś czyta się je jak rysunek techniczny. Do wpisów o kole deptakowym i o maszynach przed epoką pary. (źródło: https://archive.org/download/gri_33125009356607/gri_33125009356607.pdf)

1793 r. – Dla Katarzyny II mechanik Iwan Kulibin buduje w Pałacu Zimowym podnoszony fotel poruszany siłą mięśni służby. Opisy tego urządzenia są skąpe i szczegółów jego mechanizmu nie da się dziś rozstrzygnąć.

1818 r. – W dawnej kostnicy mnichów na Mont-Saint-Michel staje wielkie koło deptakowe do wciągania żywności dla więźniów. Nie jest średniowieczne i nie jest klasztorne: opactwo było wtedy więzieniem, a koło jest odtworzeniem maszyn używanych na średniowiecznych budowach.

1829 r. – W londyńskim Colosseum w Regent's Park działa Ascending Room – komora na dziesięć do dwunastu osób, podnoszona wewnątrz centralnego szybu, wokół którego biegną schody spiralne. Współcześni opisują napęd jako „niewidzialną maszynerię" i nie wiadomo do dziś, co nią było.

1845 r. – William George Armstrong uruchamia na nabrzeżu w Newcastle swój pierwszy żuraw hydrauliczny do wyładunku węgla z barek, zasilany nadciśnieniem z miejskiego wodociągu, który sam w tym samym roku założył; część źródeł podaje rok 1846. W latach 1850–1851 dokłada akumulator hydrauliczny – zbiornik cieczy pod ciśnieniem – który uwalnia napęd hydrauliczny od konieczności budowania wysokich zbiorników i otwiera mu drogę do budynków.

1853 r. – Elisha Graves Otis sprzedaje pierwszy dźwig z własnym hamulcem bezpieczeństwa. Nie wynalazł windy: windy osobowe jeździły już od kilkudziesięciu lat. Wynalazł to, co ma je zatrzymać.

1854 r. – Na wystawie w nowojorskim Crystal Palace Otis pokazuje publicznie działanie swojego hamulca, przecinając linę nośną platformy, na której stoi. Według monografii Lee Graya był to pierwszy i prawdopodobnie jedyny publiczny pokaz urządzenia zabezpieczającego dźwig w działaniu. W tym samym roku Otis rozpoczyna procedurę patentową – i zgłoszenie wycofuje. Pokazywał więc urządzenie nieopatentowane.

1856–1857 r. – Hugh Baines uzyskuje brytyjski patent na chwytacze wchodzące w szyny po zerwaniu liny, ale w kwietniu 1857 roku jego urządzenie zawodzi podczas próby w magazynie w Manchesterze: kabina spada z około osiemnastu metrów, jedna osoba ginie, dwie zostają ciężko ranne – w tym sam Baines.

eprasa.pl 360946405d



1857 r. – Pierwszy dźwig osobowy firmy Otisa rusza w pięciokondygnacyjnym domu towarowym E. V. Haughwout & Co. przy Broadwayu w Nowym Jorku.

1859 r. – Albert Betteley opatentowuje pierwszą blokadę wzajemną drzwi szybowych i kabinowych, czyli układ, który nie pozwala otworzyć jednych, dopóki nie są zamknięte drugie. To Betteley, a nie Miles, ma pierwszeństwo w zabezpieczaniu drzwi dźwigu.

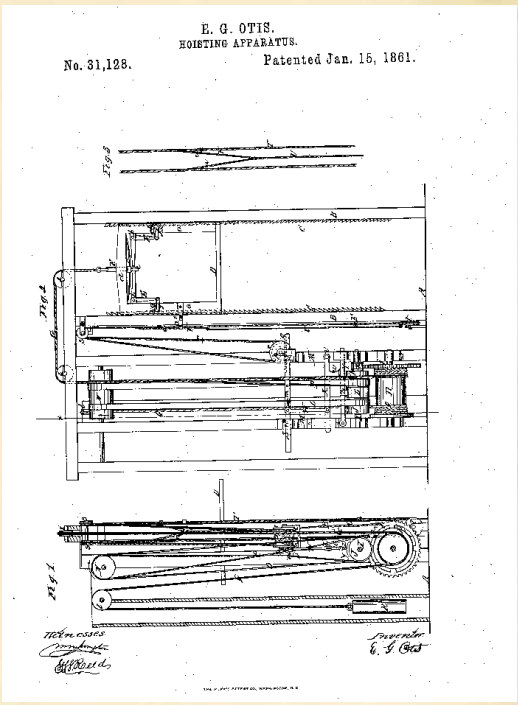
15 stycznia 1861 r. – Otis dostaje patent Stanów Zjednoczonych numer 31 128. Jego istotą są zapadki wchodzące w zęby o hakowym profilu na pionowych prowadnicach: ciężar kabiny sam wciąga zapadki w położenie zablokowane, więc im kabina cięższa, tym mocniej się zacina. Patent obejmuje też przeciwwagę nawiniętą na bęben z przeciwnej strony niż lina nośna, żeby nie przeszkadzała działaniu mechanizmu bezpieczeństwa.

1 lutego 1861 r. – Niespełna trzy tygodnie po otrzymaniu patentu dźwig Otisa w nowojorskiej fabryce spada po poluzowaniu liny podczas konserwacji. Zapadki zacięły się dopiero na wysokości drugiej kondygnacji; zginął pracownik. Otis wskazywał na zdeformowaną ramę kabiny i przypominał, że bezpieczeństwo dźwigu zależy także od obsługi.

11 lipca 1880 r. – Werner von Siemens uruchamia w Mannheimie, na wystawie regionalnej,

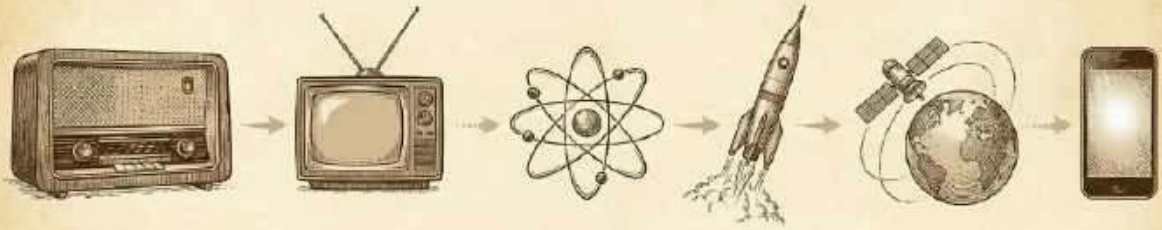


Fotografia frontu szybu dźwigowego na parterze budynku E. V. Haughwout & Co. przy 488–492 Broadway, czyli tam, gdzie w 1857 roku stanął pierwszy w Stanach dźwig osobowy z zabezpieczeniem Otisa (Historic American Buildings Survey, fot. Cervin Robinson, Library of Congress, Prints and Photographs Division, HABS NY-5459)



Przeciwwaga, zapadki z patentu Otisa numer 31 128 i dzisiejszy układ ogranicznika prędkości z chwytaczami. Przeciwwagę dobiera się na masę pustej kabiny i połowę obciążenia znamionowego; przy prędkości znamionowej 3 m/s łącznik ogranicznika prędkości zadziała powyżej 3,52 m/s, a chwytacze zadziałają przy 3,7 m/s

eprasa.pl 360946405d



pierwszy na świecie elektryczny dźwig osobowy. Wznosi sześć osób na wysokość dwudziestu metrów z prędkością pół metra na sekundę i przez czas wystawy przewozi około ośmiu tysięcy pasażerów.

1886 r. – John H. Clark z Bostonu uzyskuje pierwszy patent na dźwig sterowany przyciskiem. Przycisk trzeba było trzymać wciśniętym przez całą jazdę.

11 października 1887 r. – Alexander Miles z Duluth dostaje patent numer 371 207. Wbrew temu, co się o nim pisze, nie są to automatyczne drzwi w dzisiejszym rozumieniu: patent obejmuje przede wszystkim elastyczny pas, który zasłania otwory szybu na wszystkich piętrach poza tym, przy którym stoi kabina, oraz drzwi kabiny otwierane mechanicznie przez samą jazdę, po tym jak windziarz pedałem wprowadzi rolki w prowadzące je rowki.

czerwiec 1889 r. – Wieża Eiffla rusza z pięcioma dźwigami hydraulicznymi trzech różnych firm. Najciekawszy jest odcinek z drugiego na trzeci poziom, zbudowany przez Léona Edoux: tłok wypycha górną kabinę na skoku osiemdziesięciu jeden metrów, a kabina dolna pracuje jako jej przeciwwaga, więc pasażerowie przesiadają się w połowie drogi po kładce. Lepszego wykładu o tym, czym jest przeciwwaga, nikt nie wymyślił.

1897 r. – Charles R. Pratt opatentowuje chwytacze zaciskane sprężynowo na stalowych prowadnicach i uruchamiane regulatorem odśrodkowym – bezpośredniego przodka dzisiejszego układu ogranicznika prędkości i chwytaczy. Sam regulator odśrodkowy w roli wyzwalacza hamulca pojawił się trzydzieści dwa lata wcześniej, w patencie Charlesa R. Otisa, syna Elishy, z 1865 roku.

1901 r. – Otwarty w listopadzie warszawski Hotel Bristol ma jedenaście wind, w tym kryształową kabinę w lekkiej konstrukcji metalowej na klatce schodowej. Pierwotne urządzenie usunięto w 1969 roku.

1903 r. – Otis opracowuje napęd cierny bezprzekładniowy, w którym lina nie nawija się na bęben, lecz opasuje koło i jest ciągnięta siłą tarcia. Napęd cierny zdejmuje dwa ograniczenia naraz: prędkość, dotąd sięgającą około dwóch metrów na sekundę, i wysokość podnoszenia, którą przy bębnie wyznaczała jego długość – bęben nie mógł być dłuższy niż szerokość szybu. To ten wynalazek, a nie hamulec Otisa, otworzył drogę wieżowcom. Co do pierwszej instalacji źródła podają dwie wersje, rok 1903 i 1904, i rozbieżność ta nie jest rozstrzygnięta.

1913 r. – August Sundh opatentowuje układ nadążny, który sam wyrównuje podłogę kabiny do podłogi piętra i koryguje przejechanie przystanku. Próg, o który dziś nikt się nie potyka, kosztował osobny wynalazek.



Windziarz przy pracy, 1941. fot. Jack Delano, 1941, Library of Congress, Prints & Photographs Division, Farm Security Administration / Office of War Information

eprasa.pl 360946405d



1921 r. – Ukazuje się pierwsze amerykańskie wydanie normy dźwigowej – dwudziestopięciostronicowy zbiór zasad budowy i utrzymania dźwigów, dźwigów towarowych małych i schodów ruchomych. Redagowało go wtedy stowarzyszenie producentów dźwigów; Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników (ASME) przejęło normę dopiero po drugiej wojnie światowej.

1929 r. – W gmachu Sejmu Śląskiego w Katowicach rusza winda paciorkowa, czyli obiegowa: czternaście kabin bez drzwi krąży w pętli, a pasażer wsiada i wysiada w biegu. Napęd ma pochodzić z wiedeńskiego zakładu firmy Wertheim – dokumentacji archiwalnej urządzenia nie ma, więc i rok uruchomienia, i pochodzenie napędu znamy tylko z przekazu konserwatorskiego.

1931 r. – Luther J. Kinnard i James Dunlop opatentowują fotoelektryczne zabezpieczenie drzwi, które utrzymuje je otwarte, dopóki w prześwicie stoi pasażer.

1945 r. – Trwający pięć i pół dnia strajk szesnastu tysięcy sześciuset windziarzy oraz pracowników obsługi budynków unieruchamia windy w dwóch tysiącach stu nowojorskich budynków.



Maszynownia: koło cierne Otisa z podwójnym opasaniem. Wnętrze wieży dźwigowej z maszyną cierną bezreduktorową Otisa. (Historic American Engineering Record, fot. Jet Lowe, Library of Congress, Prints and Photographs Division)

Bywa podawany jako przyczyna zniknięcia windziarzy – w istocie był przyspieszeniem, bo patenty na sterowanie przyciskowe miały wtedy już prawie sześćdziesiąt lat.

1950 r. – Otis uruchamia w Dallas pierwszy układ szybkich dźwigów bez windziarza. Dwa lata wcześniej firma oferowała jeszcze do dźwigów z obsługą nagrany głos zapowiadający piętra.

1990 r. – Schindler wprowadza pierwszy na świecie układ sterowania zewnętrznego, po angielsku destination control: pasażer podaje piętro docelowe na panelu w holu, jeszcze przed wejściem do kabiny, a system sam przydziela mu konkretny dźwig i łączy w jednym kursie jadących na to samo piętro.

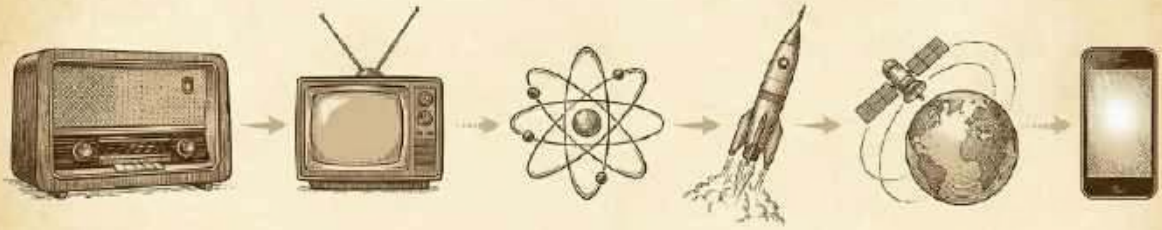
1996 r. – KONE wprowadza pierwszy dźwig bez maszynowni. Płaska, tarczowa maszyna cierna mieści się w szybie, więc z budynku znika osobne pomieszczenie nad szybem – a wraz z nim jedno z najstarszych ograniczeń architektonicznych windy.

2000 r. – Otis wprowadza dźwig na pasach ze stalowych splotek rozprostowanych obok siebie i zalanych poliuretanem, grubości poniżej trzech milimetrów. Rzecz nie w samym pasie, lecz w tym, co z niego wynika: stalowa lina wymaga, zgodnie z normami dźwigowymi, koła o średnicy co najmniej czterdziestokrotnie większej od swojej, więc lina półcalowa potrzebuje koła dwudziestocalowego. Pas pozwolił zejść poniżej pięciu cali, czyli zmniejszyć średnicę koła o ponad trzy czwarte.

2003 r. – Thyssenkrupp uruchamia pierwszy dźwig, w którym dwie kabiny jeżdżą niezależnie w jednym szybie. Odległości bezpieczeństwa między nimi pilnuje czteropoziomowy układ zabezpieczeń.

10 czerwca 2013 r. – KONE ogłasza linę nośną z rdzeniem z włókna węglowego. Powód jest prosty i rzadko wypowiadany: przy napędzie ciernym lina musi unieść nie tylko kabinę,

eprasa.pl 360946405d



ale i własny ciężar na całej długości, a Antony Wood z Rady do spraw Wysokich Budynków i Środowiska Miejskiego ocenia, że dla liny stalowej granica ta wypada w okolicach pięciuset metrów. Lina węglowa ma tę granicę podwoić.

8 grudnia 2016 r. – Mitsubishi Electric odbiera w Tokio certyfikaty Guinness World Records dla dźwigów w Shanghai Tower: najwyższy dźwig w budynku, o pojedynczym biegu 578,55 metra, i – wówczas – najszybszy na świecie, jadący 1230 metrów na minutę, czyli ponad dwadzieścia metrów na sekundę. Poprzedni rekord biegu, 504 metry, należał do Burj Khalifa.

22 czerwca 2017 r. – Thyssenkrupp uruchamia w wieży doświadczalnej w Rottweil, wysokiej na dwieście czterdzieści sześć metrów, pierwszy dźwig bez lin: kabiny krążą w obiegu, także poziomo, trzema szybami po sto metrów każdy. Skoro nie ma liny nośnej, znika i ograniczenie, które narzucał jej własny ciężar.

10 września 2019 r. – Dźwig Hitachi w Guangzhou CTF Finance Centre, wieży o wysokości pięciuset trzydziestu metrów, dostaje certyfikat Guinness World Records jako najszybszy na świecie: 1260 metrów na minutę, czyli dwadzieścia jeden metrów na sekundę pod górę. Czterysta czterdzieści metrów pokonuje w około czterdzieści dwie sekundy. Ten rekord obowiązuje do dziś. ■

Paweł Biernacki

Leksykon o windach

Winda to kilkanaście części, z których każda ma swoją nazwę – i prawie żadna nie nazywa się tak, jak mówimy na co dzień.

dźwig – tak nazywa windę norma i przepis. „Winda" jest słowem potocznym i w rozmowie nie ma w nim nic złego, ale uwaga na pułapkę w drugą stronę: maszyna z wysięgnikiem i hakiem to nie dźwig, tylko żuraw.

kabina – to, w czym jedziemy. Spoczywa na ramie kabinowej – stalowej konstrukcji, która przenosi cały ciężar na liny i na prowadnice.

szyb – pionowa przestrzeń, w której porusza się kabina. Pod najniższym przystankiem jest podszybie, nad najwyższym nadszybie; obie te przestrzenie istnieją po to, żeby serwisant miał gdzie się schować, gdyby kabina dojechała do skrajnego położenia.

prowadnice – stalowe profile przykręcone do ścian szybu, po których kabina się prowadzi. To po nich zaciskają się chwytacze – i dlatego muszą być tak mocne.

przeciwwaga – obciążnik wiszący na drugim końcu lin, dobrany na masę pustej kabiny i połowę dopuszczalnego ładunku. Dzięki niemu silnik pokonuje tylko różnicę mas, a nie cały ciężar. To jest najstarszy pomysł w tej maszynie i wciąż najważniejszy.

cięgna nośne – wspólna nazwa lin stalowych albo pasów, na których wisi kabina. W nowszych dźwigach coraz częściej są to pasy – pozwalają zmniejszyć średnicę koła i zmieścić napęd w szybie, bez osobnej maszynowni.

koło cierne – nacięte rowkami koło na wale silnika. Liny nie są do niego przywiązane: ruch przenosi się wyłącznie przez tarcie lin w rowkach. Ten pomysł zdjął ograniczenie wysokości i umożliwił wieżowce.

chwytacze – para zaciskowych urządzeń w ramie kabinowej, które zakleszczają się na prowadnicach i zatrzymują kabinę mechanicznie, niezależnie od lin. To jest bezpośredni potomek zapadek z patentu Otisa z 1861 roku.

ogranicznik prędkości – koło z ciężarkami odśrodkowymi, napędzane własną linką od kabiny. Gdy kabina jedzie za szybko, ogranicznik blokuje linkę, a ta wyzwala chwytacze. Przy prędkości nominalnej 3 m/s zadziała około 3,7 m/s.

zderzaki – sprężyste albo hydrauliczne elementy na dnie szybu, przyjmujące energię kabiny lub przeciwwagi, gdyby któreś z nich zjechało poniżej najniższego przystanku. Ostatnia rzecz, która stoi między kabiną a betonem.

eprasa.pl 360946405d

KURS PRAKTYCZNY AI

Praktyczne podejście. Zero marketingowej mgły!







Zyskaj **15%** rabatu

W prenumeracie tylko

~~116,00 zł~~

98,60 zł

prenumerata drukowana 4 kolejnych wydań

(zima 2026, wiosna, lato, jesień 2027)

Zamów na www.UlubionyKiosk.pl

lub zeskanuj kod QR i zaprenumeruj w 1 minutę

Wydania archiwalne (wiosna, lato, jesień 2026)
są dostępne na www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 360946405d