

# Pół wieku badań nad sztuczną inteligencją

## Sukces czy porażka?

**Witold Paluszyński**

Instytut Cybernetyki Technicznej  
Politechniki Wrocławskiej

[Witold.Paluszynski@ict.pwr.wroc.pl](mailto:Witold.Paluszynski@ict.pwr.wroc.pl)

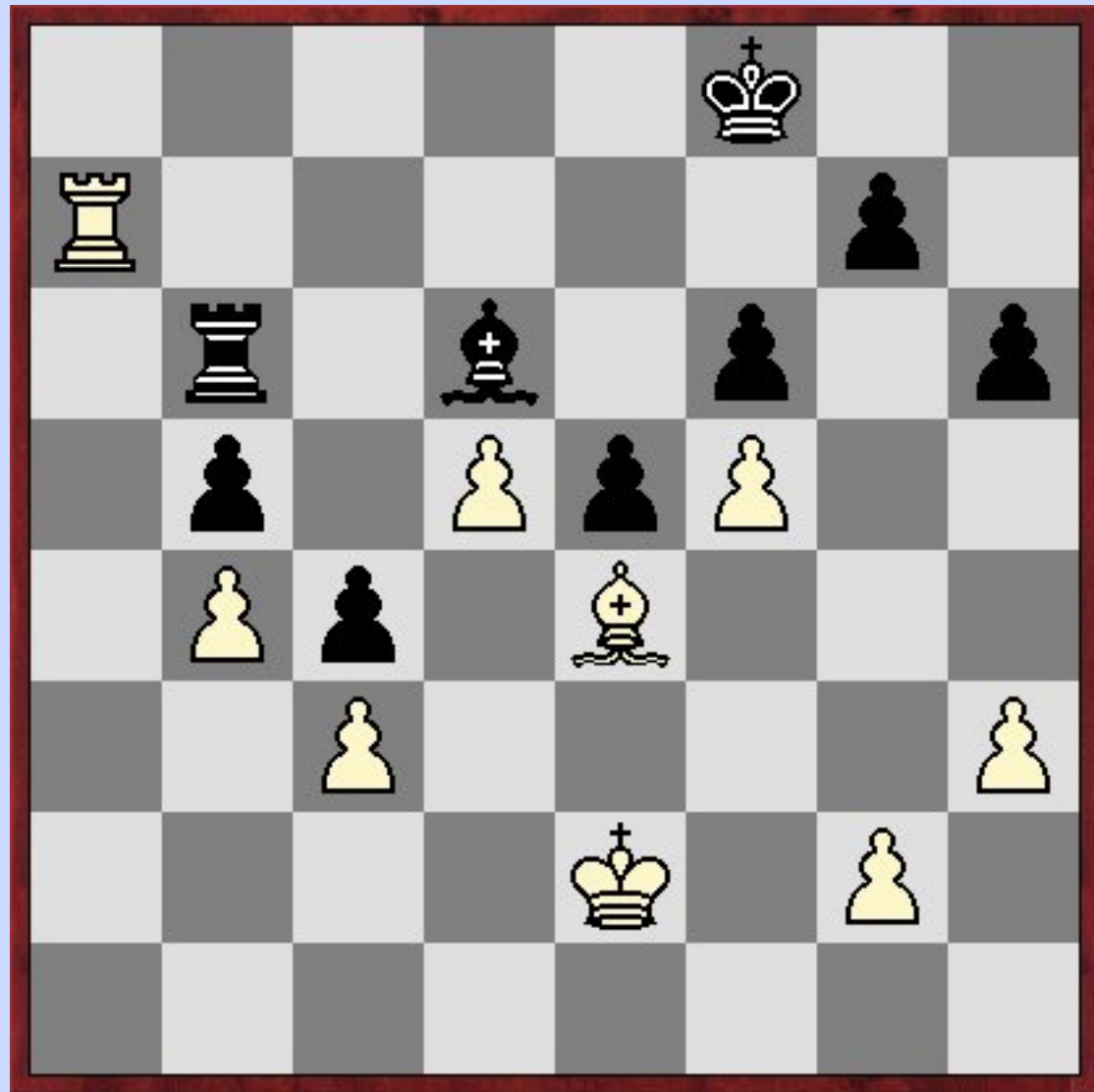
# Szachy

Liczba możliwych pozycji rzędu  $10^{128}$ .

Liczba atomów w znanej części wszechświata wynosi zaledwie  $10^{80}$ .

Wydaje się pewne, że nie może wygrywać w szachy maszyna, która mechanicznie sprawdza wszystkie możliwości.

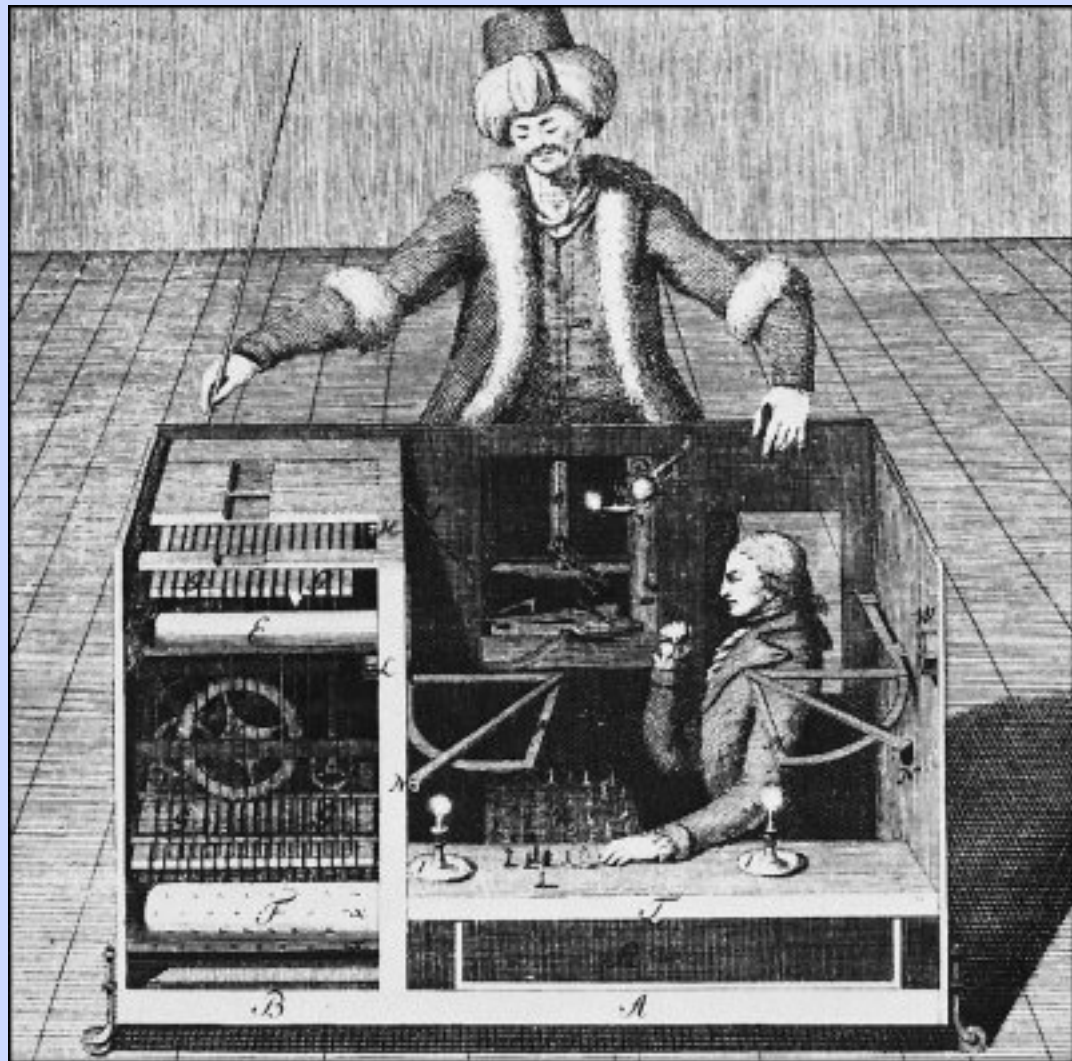
Za to dobrze radzą sobie z tą grą ludzie wybitnie inteligentni.



**rok 1769**

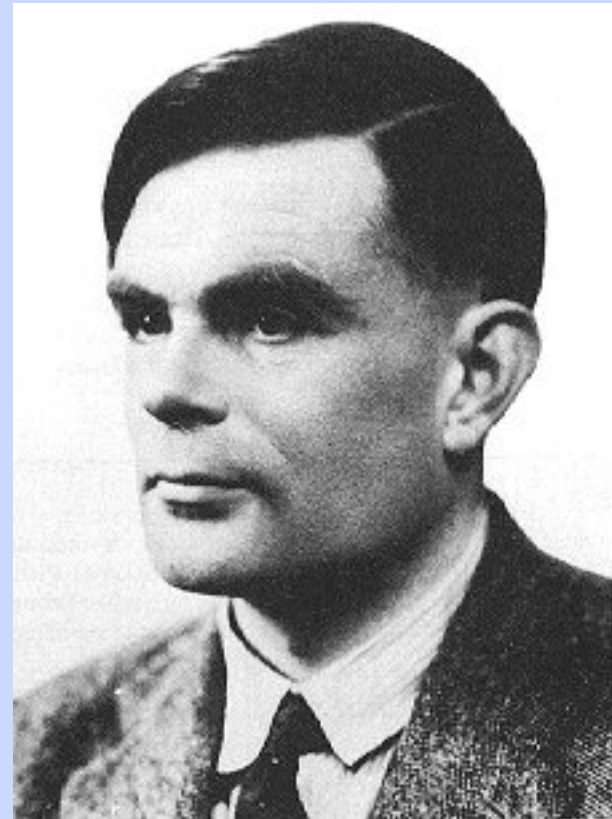
Turek, maszyna grająca w szachy skonstruowana przez barona Wolfganga von Kempelena, był oszustwem.

W środku maszyny ukryty był człowiek.



## **lata 1947-50**

Alan Turing, wielki matematyk XX-go wieku, który opracował wiele teorii dotyczących obliczeń na komputerach, sformułował algorytm gry w szachy i rozegrał szereg rozgrywek symulując komputer.



## lata 1950-56

Potężny komputer **MANIAC I**, zbudowany na potrzeby wojskowe, z procesorem 11 kHz i 600 słowami pamięci operacyjnej, został wykorzystany do gry w szachy przez zespół pod kierunkiem Stanisława Ulama.

Gra była uproszczona, na szachownicy  $6 \times 6$ , z pominięciem gońców.



Program był w stanie wygrywać z początkującymi graczami, lecz z mistrzami zawsze przegrywał. Przeszukiwanie do głębokości 4 ruchów trwało 12 minut. Przy uwzględnieniu gońców trwałoby 3 godziny.

- 1957** — Pierwszy program zdolny do gry w szachy, programista: Bernstein, komputer: IBM 704, procesor 42 Khz, pamięć RAM 7K słów, dokonywał przeszukiwania na głębokość 4 ruchów w 8 minut.
- 1966-67** — Pierwszy międzynarodowy mecz szachowy między U.S.A. i Z.S.R.R. Wygrały komputery Z.S.R.R. 3–1. Jednak poziom gry słaby.
- 1967** — Pierwszy program MacHack VI wziął udział w amatorskim turnieju szachowym. Programista: Ricky Greenblatt z M.I.T., komputer DEC PDP-6, procesor 200 Khz, 10 pozycji na sekundę. W czterech turniejach program wygrał i zremisował po 4 partie (12 przegrał), osiągając 1243 punktów rankingu USCF.
- 1968** — Szachowy mistrz międzynarodowy David Levy założył się ze znanym badaczem sztucznej inteligencji Johnem McCarthy o \$3,000 twierdząc, że żaden program komputerowy nie wygra z nim przez 10 lat. Zakład wygrał.  
Jednak nie zdecydował się na przedłużenie zakładu o kolejne 10 lat. Popęłnił błąd, ponieważ przegrał z komputerem dopiero w roku 1989.

**1974** — Pierwsze szachowe mistrzostwa świata komputerów w Sztokholmie. Wzięło udział 13 programów z 8 krajów. Wynikiem 4–0 wygrał radziecki program KAISSA napisany przez zespół programistów i pracujący na 64-bitowym angielskim komputerze ICL 4/70. Komputer miał 24,000 bajty pamięci i prędkość 900,000 instrukcji na sekundę. Przy tej prędkości mógł obliczać 200 pozycji na sekundę i efektywnie przeszukiwać w czasie gry do 7 ruchów wprzód. W tym okresie znacznie lepsze były komputery IBM (wprowadzono właśnie System/370 z pamięcią wirtualną), lecz Rosjanie nie mieli do nich dostępu.

W programie tym, poza zastosowaniem znanych technik jak technika odcięć alfa/beta, wprowadzono szereg nowatorskich rozwiązań, m.in. 64-bitową reprezentację pozycji szachownicy (tzw. *bit-board*), i szerokie wykorzystanie analogii i metod przeszukiwania na drzewach (zespół pracował w instytucie, którego szefem był Georgij Adelson-Velskij).

Jednak w kolejnych latach prace nad szachami komputerowymi w Z.S.R.R. uległy zahamowaniu. W roku 1977 wersja programu KAISSA na IBM 370/165 zajęła 2/3 miejsce na drugich mistrzostwach świata w Toronto, a na trzecich mistrzostwach w 1980 w Linzu miejsce 6-11.

- 1977** — Komputery startują w otwartych turniejach szachowych. Program Chess 4.5 wygrywa otwarty turniej stanu Minnesota osiągając punktację 2271 i po raz pierwszy pokonując Stenberga, gracza klasy A. Kolejna wersja Chess 4.6 pokonuje angielskiego arcymistrza Michaela Steana w szachach błyskawicznych (5 minut na gracza).
- 1977** — Chess 4.6 wygrywa drugie szachowe mistrzostwa świata komputerów w Toronto. Programiści: Slate i Atkin.
- 1980** — Trzecie szachowe mistrzostwa świata komputerów w Linzu wygrywa program Belle na minikomputerze PDP 11/23 wykorzystujący specjalną elektronikę do generacji ruchów.



## **lata 1980-83**

Ken  
Thompson  
(po prawej)  
i jego  
wyspecjali-  
zowany  
komputer  
do gry w  
szachy Belle  
(po lewej).

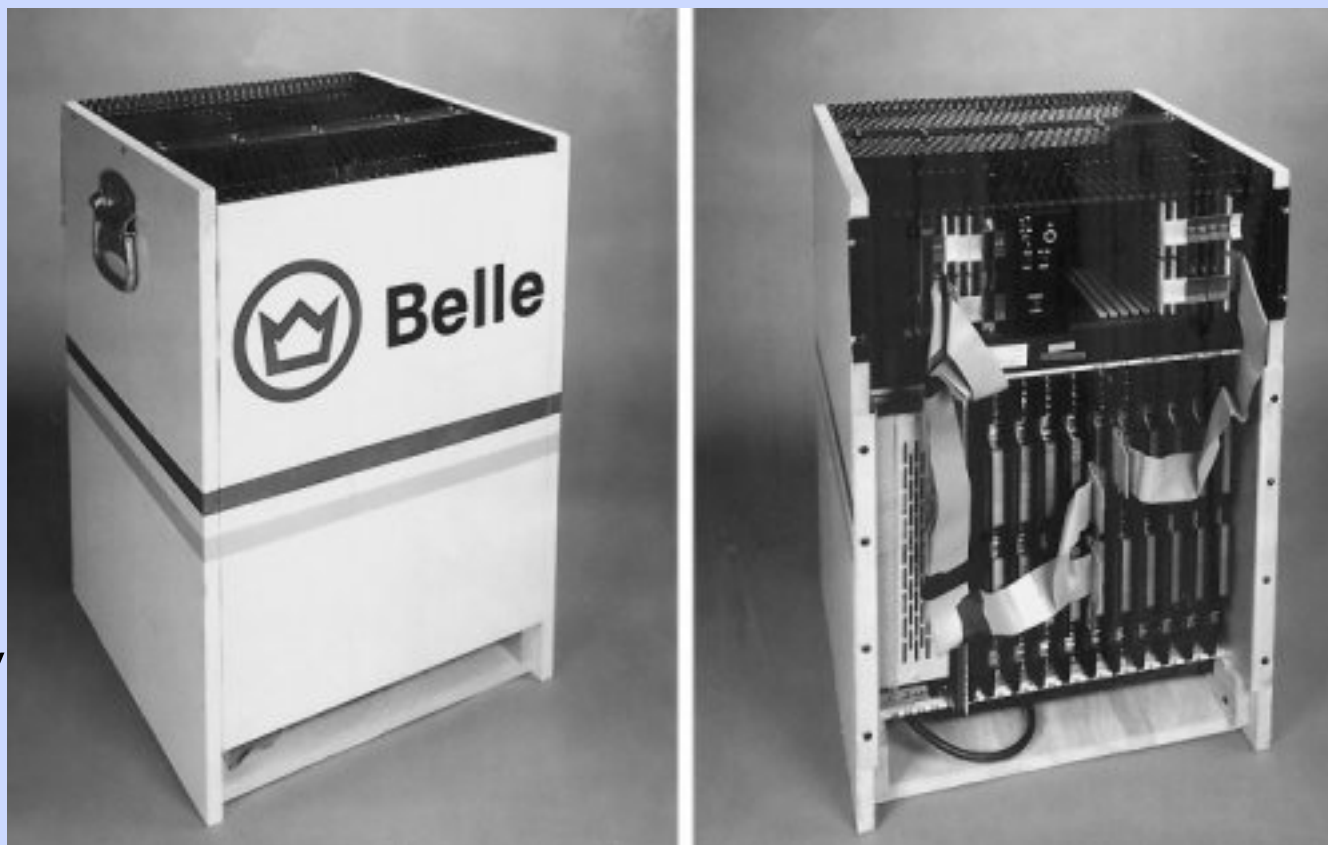


Moduł elektroniki złożony z ok. 1700 specjalnych układów scalonych pozwolił jej wygrać wszystkie turnieje szachów komputerowych w latach 1980-83 (prawie) i osiągnąć w 1983 rangę mistrzowską (2300 punktów).

## Belle

180,000  
pozycji na  
sekundę,  
9 ruchów  
naprzód,  
Koszt:  
\$20,000

Superkomputery  
5000 pozycji  
na sekundę.  
Koszt:  
miliony \$\$\$



W roku 1982 komputer został zatrzymany przez służby celne U.S.A. przy próbie wywiezienia go na turniej szachowy w Związku Radzieckim. Odzyskanie go kosztowało \$600 i miesiąc negocjacji z celnikami.

- 1980** — Ustanowiona nagroda Fredkina \$100,000 dla pierwszego programu, który pokona aktualnego mistrza świata.
- 1983–86** — Szachowym mistrzem świata komputerów zostaje program Cray Blitz, programista: Robert Hyatt. Przeszukuje do 50,000 pozycji na sekunde i osiąga 2258 punktów.
- 1985** — Hans Berliner (CMU) wraz ze studentem Carlem Ebelingiem budują komputer szachowy HiTech, z hardware'owymi generatorami ruchów (64 równoległe pracujące układy). Komputer osiąga 2530 punktów, jednak mistrzostwa świata w 1986 wygrał jeszcze Cray.
- 1988** — Studenci Berlinera Feng-hsiung Hsu i Murray Campbell budują kolejny komputer szachowy Deep Thought, który przeszukuje 750,000 pozycji na sekundę, i do 10 ruchów w grze. W 1989 roku eksperymentalna, sześcioprocessorowa wersja komputera przeszukuje ponad 2 miliony pozycji na sekundę, pokonuje kilku arcymistrzów i rozgrywa mecz z mistrzem świata Gary Kasparowem, ale przegrywa.

**1992** — Fritz 2 pokonał Gary Kasparowa w szachach błyskawicznych (5 minut na gracza) w Kolonii.

**1996** — Deep Blue, sukcesor Deep Thought zbudowany przez Hsu i Campbella finansowanych przez I.B.M., po raz pierwszy wygrywa grę z Kasparowem, ale cały mecz przegrywa.

**11 maja 1997** — Deep Blue pokonał Gary Kasparowa w normalnym turnieju i wygrał nagrodę Fredkina. Czyżby koniec rywalizacji?

Komputer wygrał dwie rozgrywki po ewidentnych błędach zdenerwowanego Kasparowa, i został natychmiast po meczu rozebrany przez IBM.

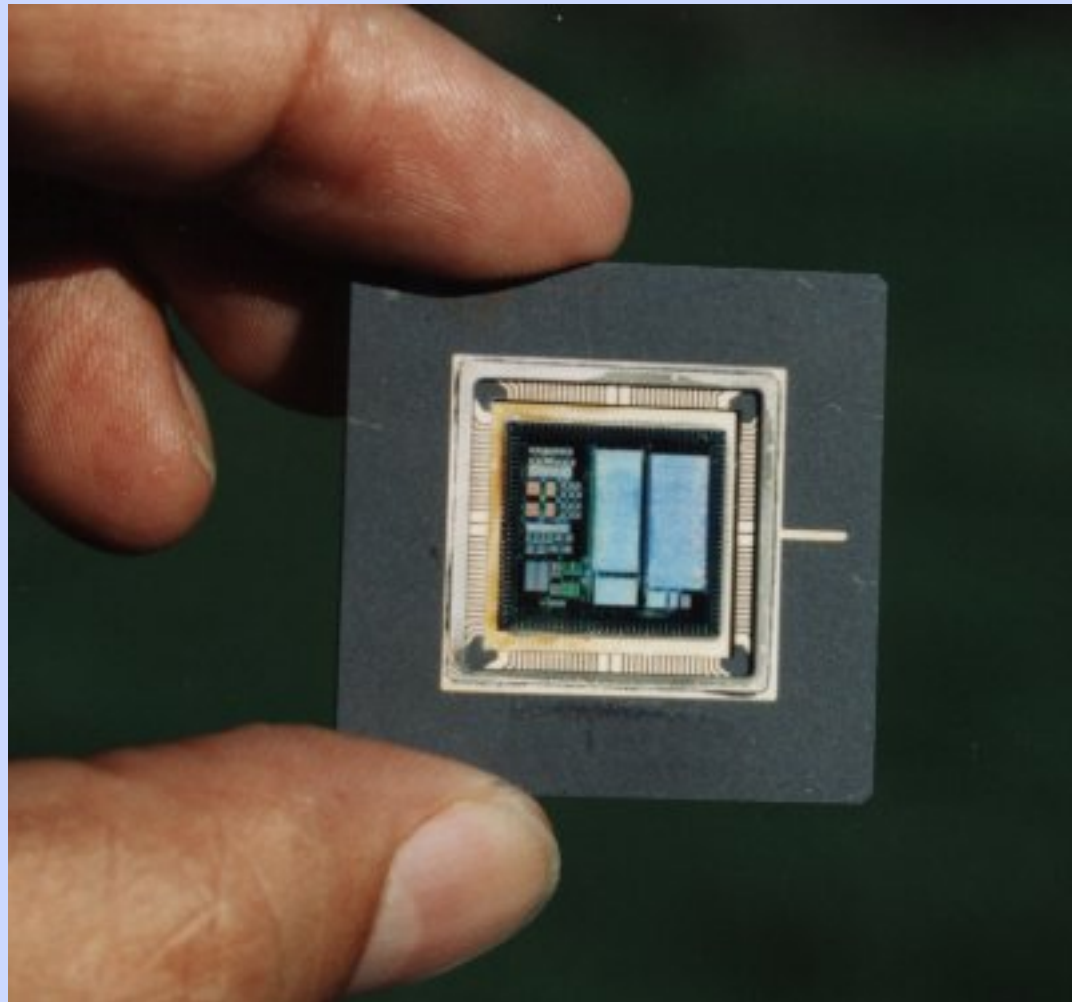
**2003** — Kasparow remisuje z programem Deep Junior 8, pracującym na 8-procesorowym 1.6 GHz komputerze z 8 GB pamięci RAM.

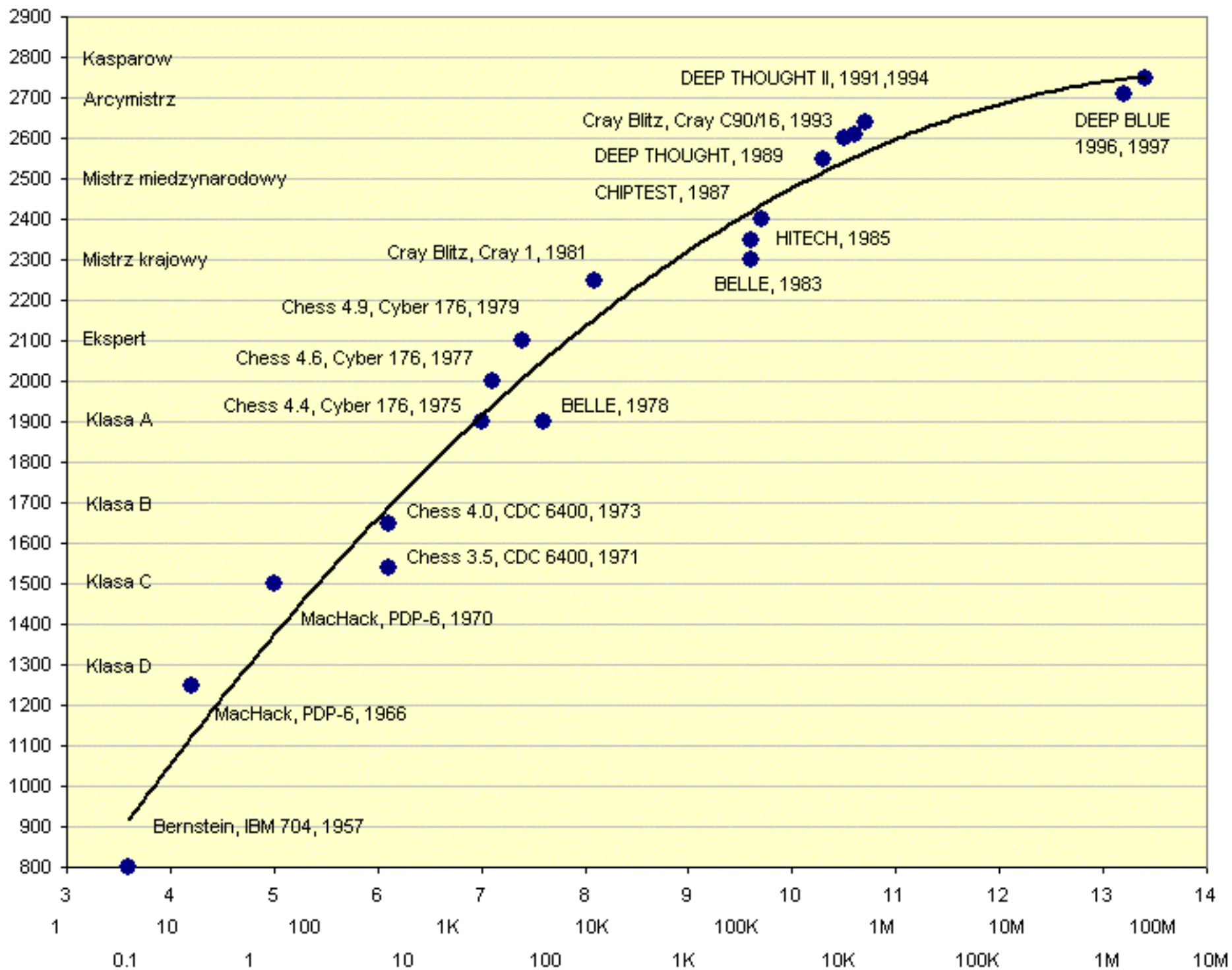
# Szachy — tryumf sztucznej inteligencji?

## Deep Blue

Komputer IBM SP/2:  
32 procesory, 256  
wyspecjalizowanych  
układów scalonych  
generujących 200  
milionów pozycji na  
sekundę.

W maju 1997 Deep Blue  
pokonał mistrza świata  
Gary Kasparowa w  
sensacyjnym meczu.





# Szachy i komputery

- Bazy danych otwarć szachowych — początek gry toczy się zgodnie z opracowanymi (przez ludzi) typowymi otwarciem, do 15–20 ruchów.
- Końcówki szachowe — sytuacje gdzie pozostało tylko kilka figur:
  - duże głębokości przeszukiwania, lecz względnie niewielka przestrzeń rozwiązań
  - pełen zbiór końcówek z 5 figurami opracowany i zakodowany przez Kena Thompsona mieści się na CD-ROM'ie, z 6 figurami na DVD
  - w tej grze człowiek nie ma szans z komputerem, np. 200 oczywistych ruchów niezbędnych do wygrania, a najlepsi gracze nie są w stanie ocenić ich sensowności ani postępu po 100 ruchach
  - na szczęście końcówki szachowe mają niewielkie znaczenie w normalnych szachach, gdzie gra zwykle kończy się wcześniej
- Czy ludzie nie powinni mieć prawa posługiwania się w grze komputerami pomocniczymi? Jeśli tak, to perspektywa ostatecznego pokonania człowieka przez program komputerowy znacznie się odsuwa.

# Czy sukces programów szachowych oznacza sukces sztucznej inteligencji w ogóle?

## W pewnym sensie TAK!

W wyniku intensywnych badań nad technikami reprezentacji wiedzy i wnioskowania, powstało szereg praktycznych systemów służących do rozwiązywania trudnych problemów, lub wspomagających ich rozwiązywanie, w: energetyce, wielu dziedzinach przemysłu, usługach komercyjnych takich jak bankowość i finanse, techniki informacyjne, w medycynie, oraz w badaniach naukowych, badaniach kosmosu, w technice wojskowej i wielu innych dziedzinach.

Tak sformułowaną tezę nazywa się **słabą sztuczną inteligencją**. Oznacza ona możliwość zbudowania systemów zdolnych do rozwiązywania problemów wymagających inteligencji.



# Czy sztuczna inteligencja dorównuje albo czy przewyższa inteligencję człowieka?

## W pewnym sensie NIE!

Pomimo iż komputery mają wiele cech i zdolności, których brakuje ludziom, nie powstał system rzeczywiście inteligentny, zdolny choćby prowadzić przeciętnie inteligentną rozmowę z człowiekiem, albo zdolnym do racjonalnego myślenia w warunkach pełnej złożoności naszego świata. Skonstruowanie takiego systemu wydaje się dość odległe.

Założenie możliwości stworzenia takiego systemu nazywa się **silną sztuczną inteligencją**. Niektórzy badacze upierają się, że osiągnięcie takiego celu nie jest w ogóle możliwe.

# Czego nie potrafią programy grające w szachy?

- nauczyć się budowy komórki i napisać kartkówki z biologii
- przeprowadzić staruszki przez ruchliwą ulicę
- rzucić kosza za 3 punkty
- pokierować pracą grupy ludzi
- ...
- wielu innych rzeczy

Do każdej z tych czynności możnaby stworzyć komputerowy system sztucznej inteligencji, ale nie można ich połączyć by dorównać człowiekowi elastycznością myślenia i zdolnością radzenia sobie z wieloma różnymi problemami i sytuacjami.

# Praktyczne zastosowania sztucznej inteligencji

Powstało i powstaje wiele praktycznych systemów stosujących techniki i rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji (słabej) do budowy wyspecjalizowanych systemów.

- Systemy doradcze i wspomagające podejmowanie decyzji
  - diagnostyka techniczna w wielu dziedzinach przemysłu
  - projektowanie konstrukcji technicznych i systemów złożonych
  - finanse i ekonomia
- Inteligencja systemów komputerowych
  - inteligentne systemy wyszukiwania informacji
  - automatyczne tłumaczenie z/na języki obce
  - dostosowanie działania systemu do potrzeb użytkownika

- Zastosowania prototypowe, eksperymentalne, i badawcze
  - medycyna
  - przewidywanie różnych złożonych zjawisk, np. geologicznych, meteorologicznych, ale także ekonomicznych, czy społecznych
  - weryfikacja poprawności systemów
  - automatyczne sterowanie pojazdami
  - rozpoznawanie wizji
  - systemy biomedyczne
  - zastosowania wojskowe

## Przykład: planowanie terapii radiacyjnej raka





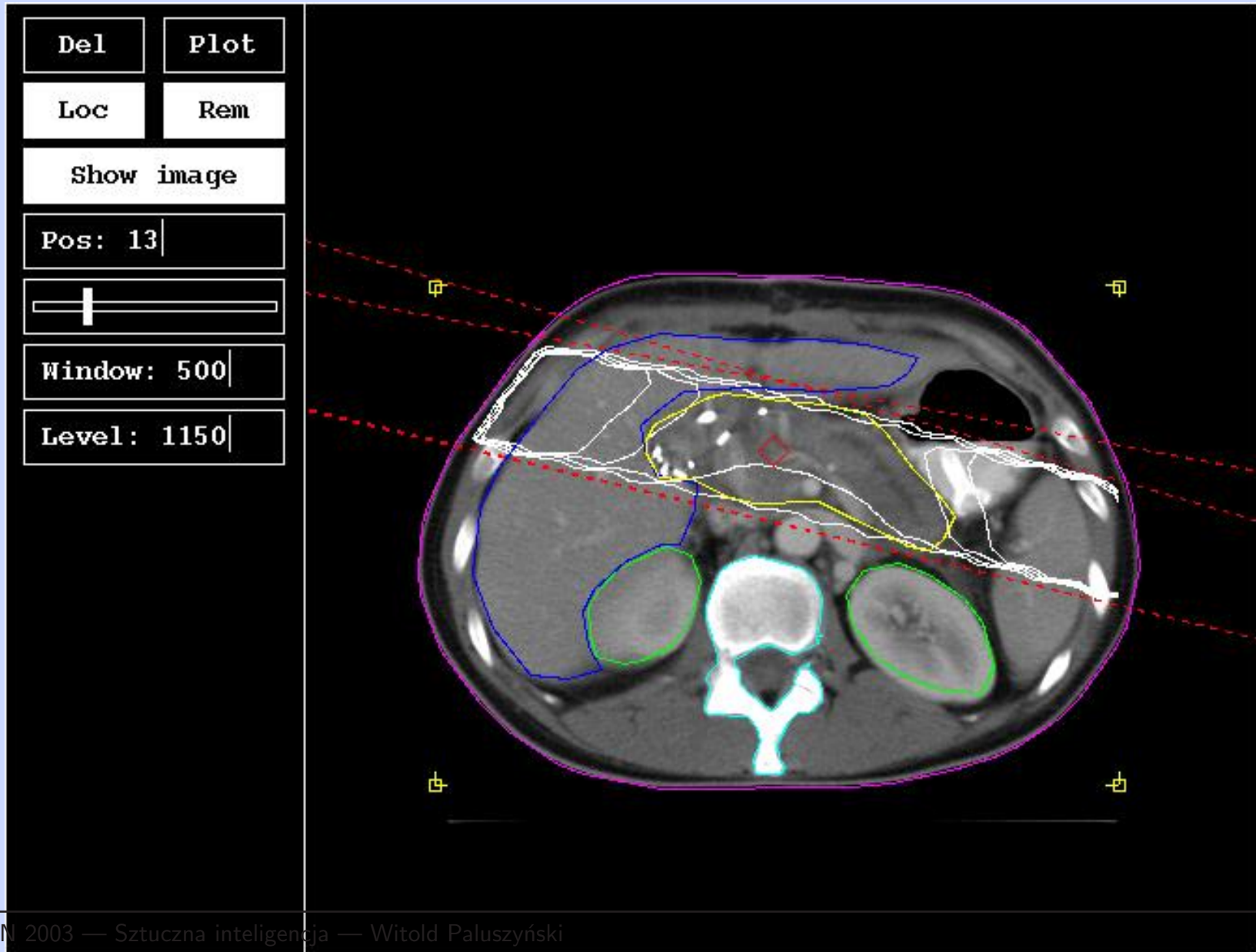
Akcelerator liniowy może skierować wytworzoną wiązkę promieniowania w ciało pacjenta pod różnymi kątami.



Ciało pacjenta musi być unieruchomione w tym samym położeniu na każdą z dawek promieniowania, których może być np. 25.

rok 1990

system RADEK planuje terapię radiacyjną dla niektórych rodzajów raka



# Przykład: automatyczne sterowanie pojazdami

**rok 1995**

- automatycznie sterowany Navlab 5 może jechać ponad 100 km/godz po autostradzie (rekord 150 km/godz na torze testowym)
- przejechał w czasie testów 10,000 kilometrów po amerykańskich autostradach (z asekuracją człowieka-kierowcy)







### sterowanie nadrzędne:

- komputer klasy Sun SPARCStation LX (50 MHz CPU, 32 MB RAM)
- kamera
- sieć neuronowa ucząca się prowadzenia pojazdu od człowieka-kierowcy



### sterowanie niższego poziomu:

- na bazie mikrokontrolera HC11
- żyroskop
- odbiornik GPS
- siłownik kręcący kierownicą
- wielopoziomowy system bezpieczeństwa

# Kluczowe technologie

- probabilistyczne sieci przekonań
- sieci neuronowe
- systemy automatycznego uczenia się
- eksperckie systemy doradcze i systemy wspomagające podejmowanie decyzji

12 miliardów dolarów w roku 2002, przewidywane 21 miliardów w 2007

# Kwestie etyczne i społeczne

- ochrona prywatności jednostki
- ochrona własności intelektualnej
- nadużycia i przestępstwa w systemach komputerowych
- niebezpieczeństwa bezpośrednio wynikające z użycia zaawansowanych technologii
  - problemy z przystosowaniem się do pracy w ważnych działach w warunkach nadmiernego nasycenia techniką, nadmiaru informacji, wzrostu szybkości i presji podejmowania decyzji
  - błędy popełniane przez ludzi w wyniku nadmiernego „zaufania” do systemów komputerowych
  - możliwość powierzania ważnych decyzji komputerom

## Przykłady zagrożeń: katastrofy lotnicze

- błędy systemów automatycznej nawigacji (CFIT = *Controlled Flight into Terrain*)
- utrata kontroli nad samolotem w wyniku błędu oprogramowania
  - Airbus A320 Lufthansy w Warszawie w 1992; system sterowania samolotu opóźnił o 9 sekund włączenie hamulców przez pilota
  - Mars Polar Lander na Marsie w 2000; system wyłączył silniki 40 metrów nad (M?)marsem
- omyłkowe zestrzelenia
  - samoloty wojskowe — wiele przypadków
  - cywilne samoloty pasażerskie
    - \* 1985: koreański Boeing 747 KAL007 — 269 ofiar
    - \* 1988: irański Airbus A300 IR655 — 290 ofiar
    - \* 2001: rosyjski Tupolew Tu-154 SB1812 — 78 ofiar

# Katastrofy lotnicze: pomyłkowe zestrzelenia

## System Patriot

Miał służyć do obrony przeciwko atakom raketowym.

Wyposażony w radar, rakiety, oraz system automatycznego rozpoznania celu i naprowadzania nań raket w czasie lotu.



Baterie Patriot były używane w czasie wojny „Pustynna Burza” w 1991 przeciwko irackim rakietom SCUD, ale okazały się mało skuteczne.



- W czasie wojny „Pustynna Burza” w Iraku w 1991 systemy Patriot były stosowane przeciwko irackim rakietom SCUD, ale okazały się nieskuteczne, 10 wysoce prawdopodobnych zestrzeleń na 85 wystrzałów.
- Przez 10 lat prowadzono intensywne prace nad zwiększeniem skuteczności.
- 23 marca 2003 bateria Patriot zainstalowana na granicy Kuwejtu omyłkowo namierzyła i zestrzeliła samolot RAF Tornado GR-4 wracający znad Iraku; zginęło dwóch brytyjskich pilotów.
- 24 marca 2003 inna bateria Patriot zainstalowana niedaleko miasta Nadżaf w Iraku namierzyła amerykański F-16 i przygotowywała się do zestrzelenia. Pilot natychmiast wystrzelił superszybką raketę HARM i zniszczył baterię ratując się przed zestrzeleniem. Szczęśliwie nikt nie zginął ponieważ obsługa baterii schowała się w schronie pozostawiając Patriota w trybie ognia automatycznego.

Dowództwo wszczęło śledztwo w sprawie niesłusznego otwarcia ognia przez ... pilota, i zniszczenia mienia państwowego!

# Omyłkowe zestrzelenia: USS Vincennes





## USS Vincennes, 3 lipca 1988

- wojna Iranu z Irakiem, ataki irańskie na tankowce przepływające przez Zatokę Perską
- flota amerykańska wysłana w celu ochrony statków przed atakami irańskimi; Amerykanie w przyjaźni z Irakiem i Saddamem Husajnem
- wzajemne zaczepki małych łodzi irańskich i okrętów wojennych U.S.A.
- krążownik floty amerykańskiej USS Vincennes wyposażony w najnowocześniejszy system uzbrojenia Aegis (aegis w mitologii greckiej: tarcza Zeusa), zaplanowany do pracy w pełni automatycznej, od rozpoznania do zniszczenia przeciwnika
  - system silnie nasycony techniką informatyczną i sztuczną inteligencją
  - radar AN/SPY o mocy 4 MW
  - rakiety przeciwlotnicze Standard SM-2

Amerykański kapitan, wbrew rozkazom dowództwa, wpływa na wody terytorialne Iranu. Ścigając małe kutry irańskie zapomina o regularnym sprawdzaniu otoczenia, np. rozkładu lotów linii lotniczych. Wierzy w niezawodność systemów automatycznego rozpoznania i ostrzegania.





(c) Frank Schaefer - A.300B4-622R B-1816 China AI - HKG OCT 1991



Wskutek błędnego projektu systemu komputerowego i szeregu pomyłek obsługa stanowiska dowodzenia nabiera przekonania, że w stronę okrętu leci irański myśliwiec F-14.

Wysłane zostają ostrzeżenia drogą radiową, lecz skierowane są do ... irańskiego myśliwca. Załoga rejsowego samolotu nie odpowiada.

Załogi innych amerykańskich statków w rejonie obserwują sytuację, lecz nie ingerują w przebieg wydarzeń wierząc, że najnowocześniejszy system Vincennes'a nie może się mylić.



