Tandem NonStop

Komputer, który obiecywał, że nie stanie — i który pokazał, że ludzie i oprogramowanie zatrzymują systemy częściej niż sprzęt.

To jest historia firmy z Cupertino, założonej w listopadzie 1974 roku przez byłych pracowników HP z pieniędzmi Kleiner Perkins, i jej systemu NonStop: od maszyny Tandem/16 z 1976 roku, w której od dwóch do szesnastu procesorów bez wspólnej pamięci rozmawiało ze sobą wyłącznie komunikatami, po serwery HPE NonStop Compute NS9 X5 z 2025 roku na zwykłych Xeonach. Po drodze opowiadam, jak działały pary procesów, checkpointy i pakiety „I'm alive", czym był Guardian i co znaczy nazwa NonStop Kernel, skąd wzięły się TMF, Pathway i NonStop SQL. Osobny, najdłuższy rozdział należy do raportu Jima Graya z 1985 roku o tym, dlaczego komputery stają — bo jego wnioski o administracji i błędach oprogramowania są dla administratora ważniejsze niż cała reszta tej historii. Na koniec rozbieram obiegowe formułki: „nigdy się nie psuje", „pierwszy odporny na awarie" i „80% bankomatów świata".

> Umiejscowienie w serii: to jest strona o **Tandem NonStop** — od założenia Tandem Computers w 1974 roku po linię HPE NonStop w 2026 roku. Należy do księgi „Zanim był pecet". Wielkie maszyny IBM, ich odporność typu RAS, lockstep i klaster Parallel Sysplex opisuje strona **Mainframe i z/OS**; drugą linię, która w 1998 roku trafiła do tego samego właściciela co Tandem — najpierw Compaqa, potem HP — opisuje strona **VMS i OpenVMS**. Rówieśnicy z tej samej rundy to **Burroughs MCP** (Burroughs był w 1979 roku na liście głównych konkurentów Tandemu) i **HP MPE** (system minikomputerów firmy, z której wyszli założyciele Tandemu). UNIX-owa gałąź Tandemu, NonStop-UX na System V, ma tło na stronach **UNIX** i **Komercyjne UNIX-y: AIX, HP-UX, IRIX, SCO i Xenix**, a KVM, na którym dziś działa wirtualny NonStop, wyrasta ze świata opisanego na stronie **Linux i GNU**.

□□ Skróty użyte na tej stronie (118)

Skrót	Co znaczy
ACI	Applied Communications Inc., później ACI Worldwide: twórca systemu płatniczego BASE24
ACM	Association for Computing Machinery: stowarzyszenie informatyków, przyznaje Nagrodę Turinga
AIX	uniksowy system IBM
AL4	najwyższa klasa dostępności w klasyfikacji IDC
AN	w oznaczeniu AN/FSQ-7: wojskowa sygnatura komputerów SAGE
B2	poziom znajomości języka obcego (tu niemieckiego)

Skrót	Co znaczy
BASE24	system obsługi bankomatów i kart firmy ACI
CAPS	Card Activation and PIN Selection: system Atalli do aktywacji kart i wyboru PIN-u
CBR	Computer Business Review: tygodnik branżowy, dziś archiwum Tech Monitor
CC	Creative Commons: rodzina wolnych licencji
CC0	Creative Commons Zero: zrzeczenie się praw, czyli oddanie utworu do domeny publicznej
CHM	Computer History Museum w Mountain View
CICS	monitor transakcji IBM dla maszyn wielkich
CISC	procesor o rozbudowanym zestawie instrukcji
CLIM	Cluster I/O Module: moduł wejścia-wyjścia (pamięć masowa, sieć) w NonStop x86
CLX	linia NonStop z 1987 roku, z procesorem z dwóch układów w lockstepie
CMOS	technologia układów scalonych o małym poborze mocy
COBOL	język programowania aplikacji biznesowych
DCE	Distributed Computing Environment: standard środowiska rozproszonego
DEC	Digital Equipment Corporation: producent VAX-a i VMS-a
DM	marka niemiecka
DMR	podwójna redundancja modułowa
DMV	Department of Motor Vehicles: kalifornijski urząd komunikacji
ECL	szybka technologia układów bipolarnych
ESS	Electronic Switching System: elektroniczne centrale telefoniczne Bell System
FAST	rodzina szybkich układów logicznych TTL
FCW	Federal Computer Week: pismo o informatyce administracji USA (dziś Nextgov/FCW)
FFS	Fast File System: system plików z Berkeley
FORTRAN	język programowania obliczeń naukowych
FOX	światłowodowy pierścień Tandemu z 1983 roku, do 14 systemów
FRR	functional recovery routines: procedury odtwarzania w MVS
FUP	File Utility Program: narzędzie do plików w NonStop
GB	gigabajt
GBP	funt brytyjski
GNU	projekt wolnego oprogramowania, współtwórca systemów linuksowych
HDLC	protokół łącza danych z potwierdzeniami
HDR	w InfiniBand HDR: generacja InfiniBandu

Skrót	Co znaczy
HP	Hewlett-Packard
HPE	Hewlett Packard Enterprise: od 2015 roku właściciel NonStop
HPNS	HP NonStop (w nazwie stanowiska)
IBM	International Business Machines
IDC	firma analityczna rynku IT
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPU	jednostka przetwarzająca procesora CLX
IRIX	uniksowy system Silicon Graphics
ISO	Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna; ISO 8583 — norma komunikatów kartowych
IT	informatyka, technologie informacyjne
ITUG	grupa użytkowników Tandemu; tu w nazwie bloga ITUG Connection
JPY	jen japoński
KB	kilobajt
KP	Kleiner Perkins: fundusz venture capital
KVM	Kernel-based Virtual Machine: wirtualizacja w jądrze Linuksa
LIFO	stos: ostatni na wejściu, pierwszy na wyjściu
LMIL	London Market Information Link: system informacji rynkowej giełdy londyńskiej
LRC	podłużna suma kontrolna
MB	megabajt
MCP	system operacyjny maszyn Burroughs
MIPS	firma i architektura procesorów RISC; także miara: miliony instrukcji na sekundę
MOS	technologia pamięci półprzewodnikowej
MPE	system operacyjny minikomputerów HP
MQ	IBM MQ: oprogramowanie kolejek komunikatów
MSI	układy scalone średniej skali integracji
MTBF	średni czas między awariami
MVS	system maszyn wielkich IBM (w tekście MVS/XA)
N2TUG	teksaska regionalna grupa użytkowników NonStop
NAE	National Academy of Engineering
NEC	japoński producent elektroniki
NFS	Network File System: sieciowy system plików

Skrót	Co znaczy
NSJ	NonStop Java: Java na NonStop
NSK	NonStop Kernel: nazwa Guardiana od połowy lat 90.
NT	Windows NT
NYSE	New York Stock Exchange
ODBC	standardowy interfejs dostępu do baz danych
OLTP	przetwarzanie transakcyjne w czasie rzeczywistym
OS	system operacyjny (w z/OS, NonStop OS)
OSS	Open System Services: uniksowe środowisko na NonStop
PA	w PA-RISC: architektura procesorów HP
PAL	programowalne układy logiczne
PCI	w PCI DSS: standard bezpieczeństwa danych kart płatniczych
PIN	osobisty numer identyfikacyjny karty
POSIX	standard interfejsu systemów uniksowych
RAS	niezawodność, dostępność, serwisowalność
RFN	Republika Federalna Niemiec
RISC	procesor o uproszczonym zestawie instrukcji
RJE	zdalne wprowadzanie zadań do maszyny wielkiej
RVU	planowe wydanie systemu NonStop (np. L24.08)
SAGE	Semi-Automatic Ground Environment: amerykański system obrony powietrznej
SCO	Santa Cruz Operation: producent UNIX-ów na PC
SEC	Securities and Exchange Commission: amerykańska komisja giełdowa
SOSP	Symposium on Operating Systems Principles: konferencja ACM
SQL	język zapytań relacyjnych baz danych
SQL/MP	NonStop SQL od 1994 roku
SQL/MX	nowsza linia NonStop SQL
SVID	System V Interface Definition: specyfikacja interfejsu UNIX System V
TACL	powłoka i język poleceń NonStop
TAL	Transaction Application Language: własny język Tandemu; dziś też pTAL
TB	terabajt
TCP	w TCP/IP: protokoły internetu
TM/MP	NonStop Transaction Manager/MP

Skrót	Co znaczy
TMF	Transaction Monitoring Facility: monitor transakcji NonStop
TMR	potrójna redundancja modułowa: głosowanie trzech procesorów
TNS	własna architektura procesorów Tandemu
TPC	Transaction Processing Performance Council: organizacja benchmarków transakcyjnych
TR	Technical Report: raport techniczny Tandemu
TS/MP	NonStop Transaction Services/MP: monitor transakcji
TTL	technologia układów logicznych
TXP	procesor NonStop z 1983 roku
UK	Wielka Brytania
UNIX	system operacyjny z Bell Labs i jego rodzina
US	Stany Zjednoczone
USA	Stany Zjednoczone
USD	dolar amerykański
UT	University of Texas
VLDB	Very Large Data Bases: konferencja o bazach danych
VLX	procesor NonStop z 1986 roku
VMS	system operacyjny DEC, dziś OpenVMS
X11	system okien X Window
XPG4	X/Open Portability Guide 4: standard zgodności uniksowej

□□ Leksykon: nazwy i pojęcia z tej strony (34)

Nazwa	Co to jest
Atalla	producent modułów bezpieczeństwa do PIN-ów, spółka zależna Tandemu
BATCHCOM	narzędzie zadań wsadowych NonStop, wymieniane w ogłoszeniach
Beer Bust	piątkowe piwo dla całej firmy, zwyczaj Tandemu do lat 90.
Bohrbug	błąd powtarzalny, wykrywalny standardowymi metodami (Gray)
checkpoint	komunikat ze stanem procesu głównego do zapasowego
Chorus	mikrojądro, na którym w 1993 roku planowano oprzeć NSK
Cyclone	najszybszy procesor NonStop z 1989 roku, 10 MIPS
Dynabus	dwie magistrale międzyprocesorowe NonStop

Nazwa	Co to jest
Encompass	pakiet rozproszonego przetwarzania danych z 1980 roku, z TMF
Enform	język zapytań i raportów Tandemu
Enscribe	system plików i baza rekordów NonStop
Expand	sieć łącząca do 255 węzłów NonStop
fail-fast	zasada: moduł działa dobrze albo się zatrzymuje
Guardian	system operacyjny Tandemu; dziś nazwa środowiska obok OSS
Heisenbug	błąd znikający przy ponowieniu operacji (Gray)
Himalaya	linia serwerów NonStop na MIPS od 1993 roku
„I'm alive”	pakiety, którymi procesory co sekundę potwierdzają, że żyją
Integrity S2	UNIX-owa maszyna Tandemu z 1990 roku, trzy MIPS R2000 z głosowaniem
Kernel Level Threads	wątki jądra w NonStop od 2025 roku
lockstep	dwie kopie sprzętu liczące to samo w tym samym takcie
NonStop-UX	UNIX System V Tandemu dla Integrity
para procesów	proces główny i zapasowy w różnych procesorach pod jedną nazwą
Pathway	środowisko aplikacji transakcyjnych z 1980 roku
PERUSE	przeglądarka kolejki wydruku NonStop
proces trwały	zapasowy startujący „z amnezją”, checkpointujący tylko sesje
Safeguard	podsystem bezpieczeństwa NonStop
ServerNet	sieć procesorów i I/O Tandemu z 1995 roku
shared nothing	architektura bez wspólnej pamięci i dysków
Stratus	konkurent Tandemu z 1980 roku, lockstep sprzętowy
Tantau	ulica siedziby Tandemu w Cupertino; firma Treybiga z 1999 roku
TorusNet	sieć łącząca domeny po 224 procesory w Himalayi
vNS	HPE Virtualized NonStop, od 2017 roku
wiek niemowlęcy	awarie świeżych instalacji i zmian; u Graya ok. 1/3 przestojów
Wolfpack	kryptonim klastrów Windows NT, współtworzonych z Tandemem

Zastrzeżenie zakresu. To nie jest podręcznik administracji HPE NonStop ani katalog modeli. Najwięcej miejsca dostaje to, czego obiegowa opowieść nie mówi: jak zbudowano odporność na pojedynczy błąd, czego ten model nie obejmował i co z badań Tandemu nad przestojami wynika dla każdego, kto utrzymuje systemy produkcyjne. Bardzo wiele liczb w

> tej historii pochodzi od samego producenta — z raportów rocznych, komunikatów prasowych i raportów technicznych pisanych przez pracowników Tandemu. Gdzie liczba jest firmowa, mówię to wprost. Nie miałem w ręku raportu Tandemu o NonStop SQL z 1987 roku ani spisu dostępności systemów z lat 1985–1990; nie widziałem też książki „Tandem Computers Unplugged”.

Wprowadzenie: legenda o komputerze, który się nie psuje

Legenda w jednym akapicie

Kto przepracował trochę lat w bankowości, telekomunikacji albo przy systemach płatności, zna tę opowieść w jakiejś wersji: *w 1974 roku Jimmy Treybig odszedł z HP i z pieniędzmi Kleiner Perkins zbudował pierwszy komputer, który się nie psuje. NonStop przez dekady obsługiwał wszystkie bankomaty i giełdy świata, aż Compaq kupił Tandem za trzy miliardy dolarów, a HP zamęczył go Itanium.*

W tej legendzie są prawdziwe nazwiska, prawdziwe pieniądze i prawdziwe daty — i co najmniej trzy zdania, które się przewracają. Najwięcej szkody robią słowa „który się nie psuje”. Przesłaniają to, co w tej historii najcenniejsze: konstruktorzy Tandemu w swoich artykułach nie obiecywali maszyny, która się nie psuje. Obiecywali maszynę, która *pracuje dalej, gdy psuje się jedna rzecz naraz*. A kiedy ich kolega z działu oprogramowania policzył w 1985 roku, dlaczego systemy klientów jednak stawały, okazało się, że sprzęt odpowiadał za mniej niż jedną piątą przestojów.

Rozbiór człon po członie

Człon opowieści	Werdykt	Dlaczego
„Treybig odszedł z HP w 1974 roku”	prawda	Tandem Computers założyli w listopadzie 1974 roku w Cupertino byli pracownicy HP pod wodzą Jamesa G. Treybiga. Treybig najpierw proponował swoją koncepcję HP, które odmówiło.

Człon opowieści	Werdykt	Dlaczego
„z pieniędzmi Kleiner Perkins”	prawda z niuansem	Tandem był inkubowany wewnątrz spółki Kleiner & Perkins, a Tom Perkins przewodniczył jego radzie przez całe istnienie firmy. Czy KP był jedynym inwestorem, źródła się różnią [1].
„pierwszy komputer odporny na awarie”	fałsz	Zdublowane komputery miał SAGE w 1958 roku, zdublowane sterowanie — centrala No. 1 ESS opisana w 1964 roku. Tandem był pierwszy w czym innym: komercyjny system transakcyjny ogólnego przeznaczenia, odporny na pojedynczy błąd, sprzedawany bez dopłaty za nadmiarowość.
„który się nie psuje”	fałsz	Cel projektu to praca przy *pojedynczym* błędzie. Średni czas między awariami systemu wyliczony przez Graya w 1985 roku to 7,8 roku według zgłoszeń, 3,8 roku po korekcie. Giełda w Toronto stała w 1989 roku trzy godziny, Londyn w 1997 roku otworzył sesję z godzinnym opóźnieniem.
„wszystkie bankomaty i giełdy świata”	fałsz	W połowie 1986 roku z Tandemów korzystało 15 giełd i 30 domów maklerskich — dużo, ale nie wszystkie. Liczby „80% transakcji bankomatowych” i „90% transakcji papierami wartościowymi” pochodzą z formułki prasowej samego Tandemu z 1996 roku.
„Compaq kupił Tandem za trzy miliardy”	prawda częściowa	Przy ogłoszeniu 23 VI 1997 roku transakcja była warta od 2,6 do 3,1 mld USD, zależnie od kursu przyjętego przez dziennikarza; w dniu zamknięcia, 29 VIII 1997 roku, ponad 4 mld[2].
„HP zamęczył go Itanium”	fałsz	NonStop przeżył Itanium. Port na x86 ogłoszono w 2013 roku, pierwsze serwery x86 wyszły w 2015, piąta generacja x86 — w 2025. W 2026 roku użytkownicy świętowali pięćdziesięciolecie pierwszej dostawy.

Oś tego tekstu: jeden pomysł przez cztery architektury procesorów

Historia NonStop to historia jednego pomysłu, który przeszedł przez cztery architektury procesorów — własne układy Tandemu, MIPS, Itanium i x86 — i czterech właścicieli: Tandem, Compaq, HP i HPE. Pomysł brzmi tak: zamiast budować jeden komputer, który ma się nie zepsuć, zbuduj kilka niezależnych procesorów, z których każdy może się zepsuć, i napisz system operacyjny, który przy awarii jednego przenosi jego pracę na inny — bez udziału człowieka i bez utraty danych. Procesory nie dzielą pamięci, rozmawiają tylko komunikatami, każda ważna usługa działa jako para procesów: główny w jednym procesorze, zapasowy w drugim.

Dwa wątki przewijają się przez całość i warto je mieć przed oczami od początku. Pierwszy to **granica modelu awarii**: system chroni przed jednym błędem naraz, a nie przed każdym. Drugi to **przesunięcie problemu** — im lepszy sprzęt, tym wyraźniej widać, że systemy zatrzymują administratorzy i błędy oprogramowania. Oba wątki zbiegają się w raporcie Graya z 1985 roku, który stoi w środku tej strony.

Rodowód: ludzie z HP i pieniądze Kleiner Perkins (1974–1977)

Treybig, któremu HP odmówiło

James G. Treybig, zwany Jimmym, był w 1974 roku pracownikiem Hewlett-Packarda z pomysłem, którego jego pracodawca nie chciał. Według historii firmy spisanej w „International Directory of Company Histories” najpierw zaproponował koncepcję odpornego na awarie komputera samemu HP — i usłyszał odmowę. Odszedł więc i w listopadzie 1974 roku założył w Cupertino w Kalifornii Tandem Computers, razem z grupą innych byłych pracowników HP. Holenderski tygodnik „Computable” w portrecie Treybiga z 1999 roku dodaje, że sam pomysł równoległych systemów z zapasem miał on wynieść z pierwszego pracodawcy, Texas Instruments; tę wersję znam tylko z tego jednego artykułu, który zresztą w innych miejscach myli daty, więc traktuję ją jako relację, nie ustalenie.

Z najwcześniejszego zespołu historia firmy wymienia **Michaela D. Greena**, wiceprezesa do spraw oprogramowania, i **Jamesa A. Katzmana**, wcześniej w HP, projektanta sprzętu. **Joel Bartlett**, autor artykułu „A NonStop Kernel” z 1981 roku, pisze w nim, że prace nad strukturą systemu zaczęto w grudniu 1974 roku, czyli w pierwszych tygodniach istnienia firmy.

Kleiner Perkins: najpierw usuń największe ryzyko

Pieniądze przyszły od dwóch ludzi z funduszu Kleiner & Perkins: **Toma Perkinsa**, także byłego pracownika HP, i **Eugene'a Kleinera**, jednego ze współzałożycieli Fairchild Semiconductor. Według „International Directory of Company Histories" w 1974 roku dali na start 50 000 USD, w 1975 roku dołożyli milion i jeszcze 500 tysięcy, a inne fundusze venture capital — 1,5 mln USD. Tom Perkins w wywiadzie dla „Red Herring" z grudnia 1993 roku opowiadał tę historię inaczej: Tandem był *inkubowany* wewnątrz spółki Kleiner & Perkins — Treybig pracował w funduszu, wcześniej przy nieudanym projekcie pojazdu, który w różnych relacjach jest motocyklem albo skuterem śnieżnym — a KP byli „the only venture investors" zarówno w Tandemie, jak i w Genentechu. Te dwie spółki nazwał „two super deals" pierwszego funduszu, który miał 8 mln USD. Czy obok Kleiner Perkins byli inni inwestorzy, źródła się więc różnią: historia firmy mówi o 1,5 mln USD z innych funduszy, Perkins — o jedynym inwestorze[1].

Z tego samego wywiadu pochodzi zdanie, które dobrze opisuje metodę inwestora i — przy okazji — trudność całego przedsięwzięcia. Perkins mówił, że trzeba znaleźć największe ryzyko projektu i usunąć je jako pierwsze: *„in the case of Tandem, we had to prove that we could develop software that could work in a multiprocessing environment."* W tej relacji największym ryzykiem nie był sprzęt, tylko oprogramowanie dla wielu procesorów.

Perkins nie był inwestorem z dystansu. Według wspomnienia opublikowanego przez Knowledge@Wharton w 2012 roku przewodniczył radzie Tandemu przez całe 23 lata istnienia firmy; w 1993 roku wciąż w niej zasiadał.

Pierwsze uruchomienie i skrzynka piwa

Przez pierwsze miesiące oprogramowanie powstawało na symulatorach, bo sprzętu jeszcze nie było. Rozdział o Guardianie w antologii „Beautiful Architecture" (O'Reilly, 2009) przechowuje firmowy folklor: kiedy system po raz pierwszy ruszył na prawdziwej maszynie, jeden z wiceprezesów kupił skrzynkę piwa. Z jednorazowego świętowania zrobił się cotygodniowy zwyczaj — **„Tandem Beer Bust"**, piątkowe piwo dla całej firmy, które trwało do lat dziewięćdziesiątych i zostało odwołane jako „increasingly politically incorrect". Kiedy to pierwsze uruchomienie nastąpiło, źródła się różnią: autor rozdziału pisze o końcu 1974 roku, co trudno pogodzić z Bartlettem, według którego prace nad strukturą systemu dopiero się wtedy zaczynały; bardziej prawdopodobny wydaje mi się 1975 rok[3].

Ten sam rozdział zapisuje hasła z firmowych koszulek: *„So nice, so nice, we do it twice"*, *„There's no stopping us"* i *„Tandem users do it with mirrors"* — ostatnie to żart z lustrzanych dysków. Na każdy element, który w szafie Tandemu występował podwójnie, odpowiadano: *„It's there in case one fails."* Trudno o krótszy opis tej architektury.

Pierwsze dostawy: maj 1976

Już 8 XII 1975 roku „Business Week" opisał firmę w artykule pod tytułem „A Computer that Won't Shut Down" — obietnica, która miała zostać przyklejona do Tandemu na pół wieku, była w

nagłówku, zanim pierwszy klient dostał maszynę. Pierwsza dostawa przyszła w **maju 1976 roku**; tak podaje niezależny raport Datapro ze stycznia 1979 roku, bez nazwy klienta. Obiegowo mówi się, że pierwszym klientem był Citibank, ale tej wersji nie znalazłem w żadnym źródle z epoki.

Lepiej udokumentowany jest drugi system. Bill Honaker, opisując w 2026 roku jubileuszowe spotkanie teksaskiej grupy użytkowników, przypomina, że drugi NonStop trafił do **Radio Shack w Fort Worth**, do obsługi magazynu. Wśród wczesnych klientów wymienia też UT Health Science Center w Dallas — maszyna stała pod izbą przyjęć szpitala Parkland — oraz General Dynamics, gdzie Tandem pracował przy programie myśliwca F-16.

W 1977 roku Tandem wszedł na giełdę i miał już spółkę we Frankfurcie, która w czerwcu zapowiadała dwuportowe dyski 200 MB; „Computerwoche” nazwała przy tym NonStop „32-bitowym systemem dwukomputerowym”, choć procesory były 16-bitowe.

Pierwszy niezależny portret: Datapro, styczeń 1979

Raport Datapro M11-822-10 ze stycznia 1979 roku jest pierwszym znanym mi opisem Tandemu pisanym przez analityka spoza firmy. Po niecałych trzech latach dostaw Tandem miał „over 100 customers and over 250 processors”. Typowy mały system dwuprocesorowy kosztował około 150 000 USD, a sam procesor z 384 KB pamięci MOS — 36 400 USD. Tandem nie leasingował maszyn, tylko je sprzedawał, a serwis wyceniał osobno. Nie dostarczał też oprogramowania aplikacyjnego.

Za głównych konkurentów Tandem uważał wtedy Burroughs, Data General, DEC, HP, Honeywell i IBM — czyli praktycznie całą ówczesną branżę: od minikomputerów po maszyny wielkie. Burroughs i jego system opisuje strona **Burroughs MCP**.

Datapro przeprowadził też małą ankietę: 11 użytkowników z 14 systemami. Ogólna satysfakcja wyniosła 3,6 na 4 punkty; najniżej oceniano łatwość konwersji istniejących aplikacji (2,2 na 4), chwalono architekturę i kompilator T/TAL. Jeden z ankietowanych streścił swoją ocenę w dwóch słowach: *„Absolutely reliable.”* Niska ocena konwersji nie dziwi: Katzman pisał, że maszynę zaprojektowano od zera, bez „the onus of compatibility”.

Poprzednicy i trzy filozofie odporności

SAGE i centrale ESS: dwa komputery robiące to samo

Tandem nie był pierwszym komputerem budowanym z myślą o tym, że ma nie stawać. Blisko dwie dekady wcześniej amerykański system obrony powietrznej SAGE, zbudowany przez IBM i wprowadzony w 1958 roku, miał na każdym stanowisku dwa komputery AN/FSQ-7 — według Computer History Museum „to provide redundancy", z konsolami konserwacyjnymi koordynującymi przełączanie między nimi. Strona historyofinformation.com, oparta częściowo na Wikipedii, dodaje, że jeden procesor stał zawsze w „gorącej rezerwie", a system działał do 1984 roku; tego nie sprawdziłem w drugim źródle.

Ściana lamp i konsola komputera SAGE w Computer History Museum — zdjęcie „IBM's $10 Billion Ma

Ściana lamp i konsola komputera SAGE w Computer History Museum — zdjęcie „IBM's $10 Billion Machine". Źródło: Flickr, CC BY 2.0, autor: Steve Jurvetson.

Drugi poprzednik to telefonia. Artykuł „No. 1 ESS Maintenance Plan" z „Bell System Technical Journal" z 1 IX 1964 roku opisuje *„a scheme for duplicating control equipment"* oraz układy i programy do wykrywania, automatycznego odtwarzania i analizy usterek, z zastrzeżeniem: *„It is important that troubles be detected almost instantaneously, before many calls are affected."* Philip C. Richards, projektant centrali No. 2 ESS, wspominał na łamach IEEE, że celem dla sterowanych komputerowo central było *„no more than two hours of downtime in forty years"*. Robiono to tak: dwa komputery wykonywały te same programy na tych samych danych, a układ porównujący sprawdzał ich wyniki. Pierwsze centrale No. 2 ESS pracowały bez przestojów od listopada 1969 roku.

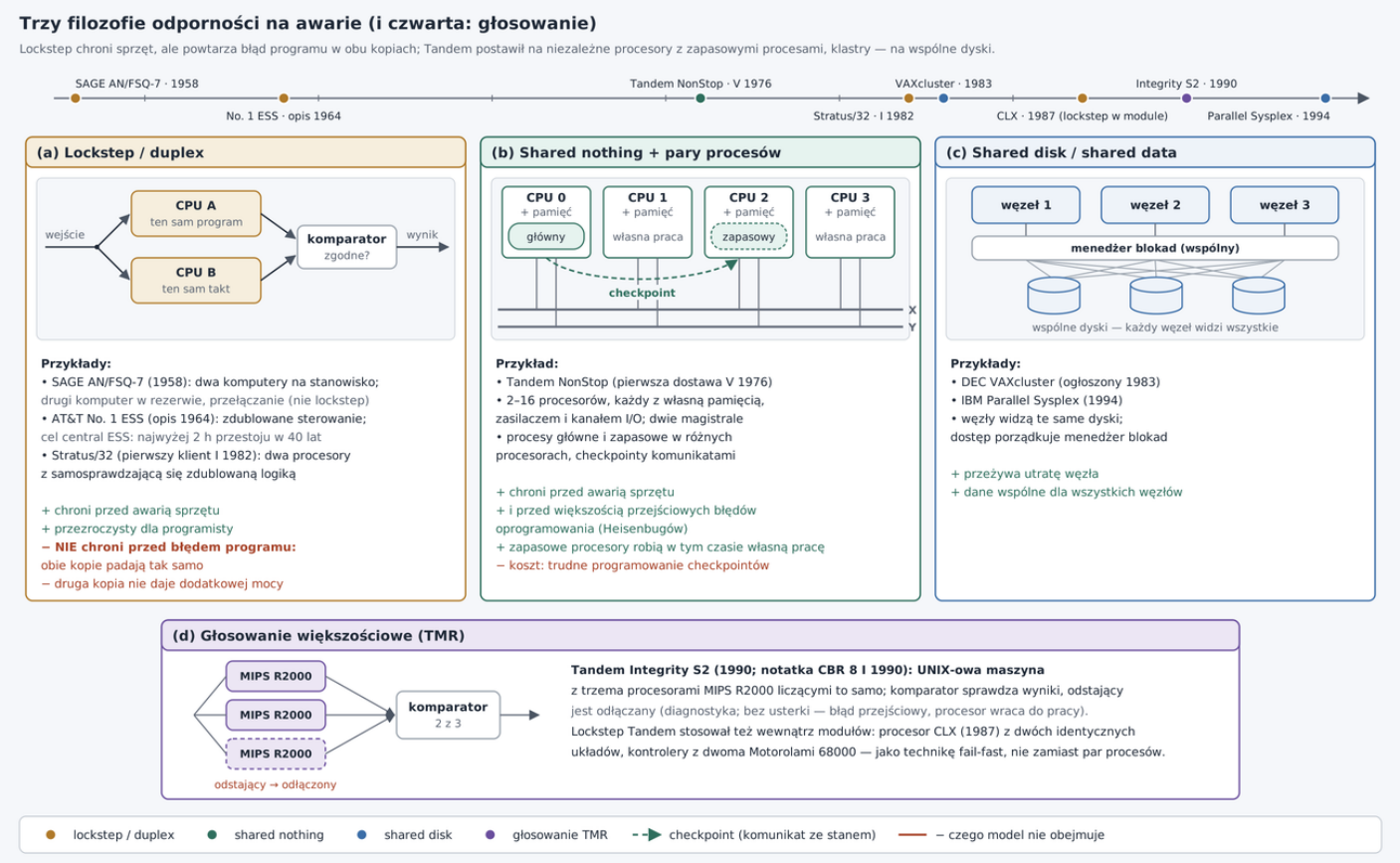
Co Tandem zrobił inaczej

Rozwiązanie central ESS ma dziś nazwę **lockstep** albo duplex: dwie kopie sprzętu liczą to samo w tym samym rytmie, komparator wykrywa rozbieżność. SAGE, z drugim komputerem w rezerwie i przełączaniem między nimi, należy do tej samej rodziny zdublowanego sprzętu. Jest skuteczne wobec awarii sprzętu i całkowicie przezroczyste dla programisty — ale połowa sprzętu przez cały czas tylko się przygląda, a jeśli błąd siedzi w programie, obie kopie popełnią go jednocześnie.

Tandem zrobił coś innego. W jego maszynie procesory były luźno sprzężone: każdy miał własną pamięć, własny zasilacz i własny kanał wejścia-wyjścia, każdy wykonywał *inną* pracę, a jedyną drogą między nimi były komunikaty. Odporność nie wynikała z porównywania wyników, tylko z tego, że dla każdej ważnej usługi w *innym* procesorze czekał proces zapasowy, który dostawał od głównego bieżący stan i w razie awarii przejmował pracę. Dziś ten typ architektury nazywa się **shared nothing** — „nic wspólnego": bez wspólnej pamięci i bez wspólnej magistrali, przez którą jeden zepsuty element mógłby zatrzymać całość.

Katzman ujął filozofię projektu w kilku zdaniach, które warto przytoczyć. Celem był system „z półki”, o dostępności *„at least an order of magnitude better”* niż istniejące. Wieloprocesorowość *„is necessary for continuously available systems, it is far from sufficient”* — sama liczba procesorów niczego nie daje, jeśli system operacyjny nie umie przenieść pracy. A odporność miała być w cenie: bez *„charging a premium”*. W maszynie lockstepowej płaci się za drugą kopię, która nie robi nic użytecznego; w Tandemie zapasowe procesy były rozrzucone po procesorach, które w tym czasie wykonywały własną pracę, więc dodatkowy procesor dawał też dodatkową moc.

Trzecia filozofia przyszła później i z innej strony: **wspólne dyski** (shared disk) albo wspólne dane (shared data). Każdy węzeł widzi te same dyski. Tak działał VAXcluster DEC-a, ogłoszony w 1983 roku — pierwszy udany klaster ze współdzielonymi dyskami — i Parallel Sysplex IBM z 1994 roku. Tandem, który od 1976 roku sprzedawał wieloprocesorowy system bez współdzielenia, Jim Gray i inni opisywali później po prostu jako klaster.



Rysunek 1. *Trzy sposoby na to, żeby system przeżył awarię: dwie kopie liczące to samo, niezależne procesory z zapasowymi procesami i wspólne dyski dla wielu węzłów. Tandem wybrał środkową drogę — ale, jak pokazuje dolny pasek, sam też sięgał po lockstep i głosowanie, gdy było to wygodniejsze.*

Tandem/16 od środka: sprzęt, w którym wszystko jest podwójne

Najstarszy techniczny opis maszyny to artykuł Jamesa A. Katzmana „The Tandem 16: A Fault-Tolerant Computing System” z 1977 roku. Razem z towarzyszącym mu tekstem Bartletta o oprogramowaniu został przedstawiony w styczniu 1978 roku na 11. Hawaii International Conference on System Sciences i przedrukowany potem w dwóch klasycznych zbiorach: „Computer Structures” Siewiorka, Bella i Newella oraz „The Theory and Practice of Reliable System Design” Siewiorka i Swarza (Digital Press, 1982). Maszyna nazywała się wtedy po prostu Tandem/16; nazwa **NonStop I** przylgnęła do niej później, dla odróżnienia od kolejnych generacji.

Procesor: maszyna stosowa w mikroprogramie

Procesor Tandem/16 był 16-bitowy i mikroprogramowany, z cyklem 100 ns i dwustopniowym potokiem. Dla programisty była to **maszyna stosowa**: osiem rejestrów działało jak stos LIFO, a dalsza część stosu leżała w pamięci. Katzman wymienia 123 instrukcje 16-bitowe i opcjonalny zestaw dziesiętny (20 instrukcji); raport techniczny Tandemu z 1990 roku podaje dla NonStop I 173 instrukcje i szacuje jego moc na 0,7 MIPS[4]. Bartlett w 1981 roku podaje czasy: dodawanie rejestr-rejestr — 0,6 µs, załadowanie słowa z pamięci — 1,1 µs.

Pamięć mogła być rdzeniowa (z bitem parzystości) albo półprzewodnikowa — z sześcioma bitami kontrolnymi na słowo, czyli z korekcją pojedynczych i wykrywaniem podwójnych błędów. Katzman zauważa rzecz, która w 1977 roku nie była oczywista: pamięć półprzewodnikowa *bez* korekcji błędów była mniej niezawodna od rdzeniowej, dopiero z korekcją — nieco bardziej. Bateria podtrzymywała zawartość pamięci półprzewodnikowej przez 1,5 do 4 godzin. Ile pamięci mógł mieć jeden procesor, źródła podają różnie: od 512 KB w artykule Katzmana do 2 MB u Bartletta i w raporcie z 1990 roku — co najpewniej odzwierciedla rozbudowę w pierwszych latach produkcji[5].

Zasilanie: diody zamiast przekaźników

Każdy procesor miał własny zasilacz. Katzman opisuje go dokładnie. Zasilacz miał trzy sekcje, przyjmował 110 albo 220 V z tolerancją ±20% i utrzymywał napięcie przez ponad 30 ms po zaniku sieci.

Najciekawszy jest sposób zasilania kontrolerów wejścia-wyjścia. Każdy kontroler pobierał prąd z *dwóch* zasilaczy jednocześnie, połączonych przez diody — dziś mówi się na to diode ORing. Śmierć jednego zasilacza nie wyłączała kontrolera, bo drugi dalej go karmił. Diody zastąpiły wcześniejszy

projekt na przekaźnikach. Zasilacz dało się wymienić bez narzędzi, w niecałe pięć minut, dzięki szybkozłączom.

Dynabus: dwie magistrale między procesorami

Procesory łączyły dwie niezależne magistrale międzyprocesorowe. U Katzmana mają one nazwę **Dynabus** — „2 buses • 16 processors”; ta sama nazwa figuruje potem na liście znaków towarowych Tandemu. Bartlett w artykule z 1981 roku nazwy nie używa i pisze tylko o „interprocessor bus”. Obie magistrale pracowały jednocześnie i przenosiły dane bezpośrednio między pamięciami procesorów, z prędkością, którą źródła podają z różnym zaokrągleniem: 13 MB/s, 13,33 MB/s albo 13,5 MB/s na magistralę — to ta sama konstrukcja, opisana w różnych latach [6]. Bartlett zwraca uwagę, że magistrala była *„ponad trzy razy szybsza niż pamięć procesora”* — to nie ona miała być wąskim gardłem.

Dane szły pakietami. Katzman opisuje pakiet jako 15 słów danych i słowo kontrolne LRC, Bartlett — jako 16 słów, z czego 13 to dane, a reszta to adres, numer sekwencyjny i suma kontrolna[7]. Jedna operacja SEND mogła przesłać do 65 535 słów. Protokół działał na zasadzie potwierdzeń pozytywnych, podobnie jak HDLC w sieciach: odbiorca potwierdza każdy pakiet, a pakiet niepotwierdzony w ciągu sekundy nadawca wysyła drugą magistralą. Bartlett przytacza dziennik błędów systemu, na którym pracował przez miesiąc: ani jednego komunikatu o błędzie magistrali.

Kontrolery dwuportowe i lustrzane dyski

Druga połowa odporności siedziała w wejściu-wyjściu. Każdy kontroler był **dwuportowy**: miał dwa wejścia, podłączone do kanałów dwóch różnych procesorów. W danej chwili aktywny był jeden port, drugi czekał jako ścieżka zapasowa; kontroler przechowywał bit własności, a system operacyjny mógł go przejąć komendą TAKE OWNERSHIP albo zablokować port komendą DISABLE PORT. Jeśli procesor właściciela zginął, drugi procesor przejmował kontroler i dalej obsługiwał podłączone do niego urządzenia.

Urządzenia, które same miały dwa porty — przede wszystkim dyski — można było dodatkowo podłączyć do drugiego kontrolera. W ten sposób dysk był osiągalny z dwóch procesorów przez dwa kontrolery. Kontroler dysków miał bufor 4 KB i obsługiwał do ośmiu napędów, czyli czterech par lustrzanych, na parę kontrolerów. Same **lustrzane woluminy** — każdy zapis idzie na dwa dyski — realizowano głównie programowo, w systemie operacyjnym.

Złożony razem obraz wygląda tak: pojedynczy błąd — według modelu awarii Bartletta — wyłącza najwyżej jeden procesor, jedną magistralę albo jeden kontroler. Każdy z tych elementów ma odpowiednik, który przejmuje pracę. Bartlett formułuje cel jednym zdaniem: *„The system design goal is to provide continuous operation in the presence of a single fault.”* Słowa „a single fault” są w tym zdaniu najważniejsze; wrócę do nich przy awarii giełdy w Toronto.

W chwili pisania artykułu, w 1977 roku, Katzman podaje, że Tandem dostarczał systemy od dwóch do dziesięciu procesorów. Szesnaście było granicą architektury; w 1982 roku cennik obejmował już konfiguracje od 2 do 16 procesorów.

Guardian: system zbudowany z komunikatów

Nazwa od pierwszego dnia

System operacyjny Tandemu nazywał się **Guardian** od pierwszych publikacji. W tekście Bartletta z 1977–1978 roku, przedrukowanym w tym samym rozdziale co artykuł Katzmana, Guardian jest opisany jako system *„zbudowany z procesów komunikujących się komunikatami”*. Datapro w 1979 roku pisze, że był jedynym systemem operacyjnym, jaki Tandem oferował. Podręcznik „GUARDIAN Operating System Programming Manual” z kwietnia 1982 roku jest dostępny na bitsavers. Późniejsza nazwa NonStop Kernel nie zastąpiła Guardiana z dnia na dzień — o tym niżej.

Komunikaty jako jedyny mechanizm

Najważniejsza decyzja projektowa Guardiana jest zarazem najprostsza: **komunikaty są jedynym mechanizmem komunikacji międzyprocesowej**. Nie ma pamięci współdzielonej, nie ma wspólnych struktur, do których mogłyby sięgać dwa procesy. Dane przekazuje się przez wartość. Bartlett wymienia pięć prymitywów: LINK, LISTEN, READLINK, WRITELINK i BREAKLINK, z parametrami mieszczącymi się w sześciu słowach.

Komunikat działa tak samo, czy proces docelowy jest w tym samym procesorze, czy w sąsiednim, więc program nie musi wiedzieć, gdzie jest jego rozmówca. A skoro nie ma pamięci współdzielonej, awaria jednego procesora nie zostawia w pamięci innych procesorów na wpół zmienionych struktur. Komunikat może anulować każda ze stron, co daje jednolity sygnał awarii: jeśli procesor rozmówcy zginie, oczekujący komunikat zostanie anulowany i nadawca dowie się o tym tak samo, jak dowiedziałby się o każdym innym błędzie.

Każdy procesor obsługiwał do 256 procesów, przełączenie procesu trwało około 0,5 ms, a przestrzeń pamięci wirtualnej sięgała 1 GB na procesor. W każdym procesorze działał proces Monitor i menedżer pamięci — każdy procesor był samodzielny i nie zależał od żadnego „głównego” procesora. NonStop II rozszerzył później architekturę o 32-bitową logiczną przestrzeń adresową.

„I'm alive”: skąd system wie, że procesor umarł

Żeby przenieść pracę z martwego procesora, trzeba najpierw wiedzieć, że umarł. Bartlett opisuje mechanizm, który przeszedł do historii pod nazwą **„I'm alive”**: *„Every second, each processor sends an unsequenced acknowledgement packet over each bus to every processor.”* Co dwie sekundy każdy procesor sprawdza, czy dostał takie pakiety od wszystkich pozostałych. Jeśli od któregoś nie dostał — uznaje go za martwego i anuluje wszystkie wiszące komunikaty z nim związane. Podręcznik z 1985 roku opisuje to samo nieco inaczej: martwy jest procesor, który milczy przez dwa kolejne okresy, każdy po około sekundzie[8].

Pakiet idzie po *obu* magistralach, więc awaria jednej magistrali nie wygląda jak śmierć procesora. Słabe miejsce też jest widoczne: co, jeśli dwa procesory stracą kontakt ze sobą, ale nie z resztą? Bartlett wspomina o algorytmie, który ma takie sytuacje rozstrzygać („regroup”), ale go w tym artykule nie opisuje. Rozdział z „Beautiful Architecture” ma w spisie treści podrozdział o „split brain” — rozszczepieniu systemu na dwie części, z których każda uważa się za jedyną żywą — co pokazuje, że problem był znany. Szczegółów rozwiązania moje źródła nie podają.

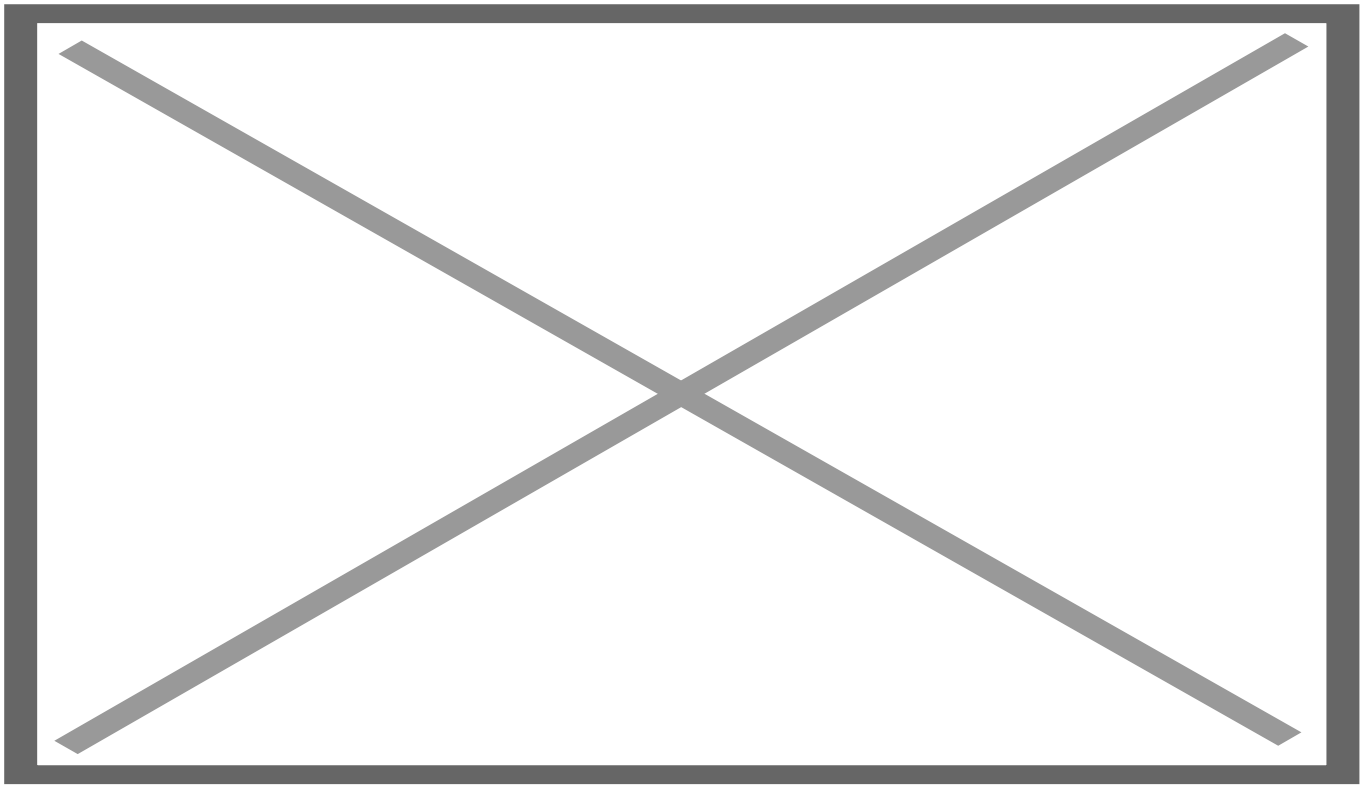
Bartlett i Katzman nie używają jeszcze terminu „fail-fast”, ale opisują jego zalążek. U Katzmana, przy uszkodzonych strukturach danych Guardiana, pada zdanie: *„Any processor detecting such an error will halt.”* Procesor, który zauważy, że coś jest nie tak, nie próbuje ratować sytuacji — zatrzymuje się, a jego milczenie w protokole „I'm alive” uruchamia przejęcie pracy przez innych. Zasadę tę spopularyzuje i nazwie Gray w 1985 roku.

Pary procesów i checkpointy

Sercem Guardiana są **pary procesów** (process pairs). Każde urządzenie wejścia-wyjścia i każdy ważny serwer aplikacji działa jako dwa procesy w dwóch różnych procesorach: główny (primary) i zapasowy (backup). Obie kopie występują pod jedną nazwą symboliczną — tablica nazw systemu wiąże tę nazwę z dwoma identyfikatorami procesów. Klient wysyła komunikat pod nazwę, a nie do konkretnego procesu.

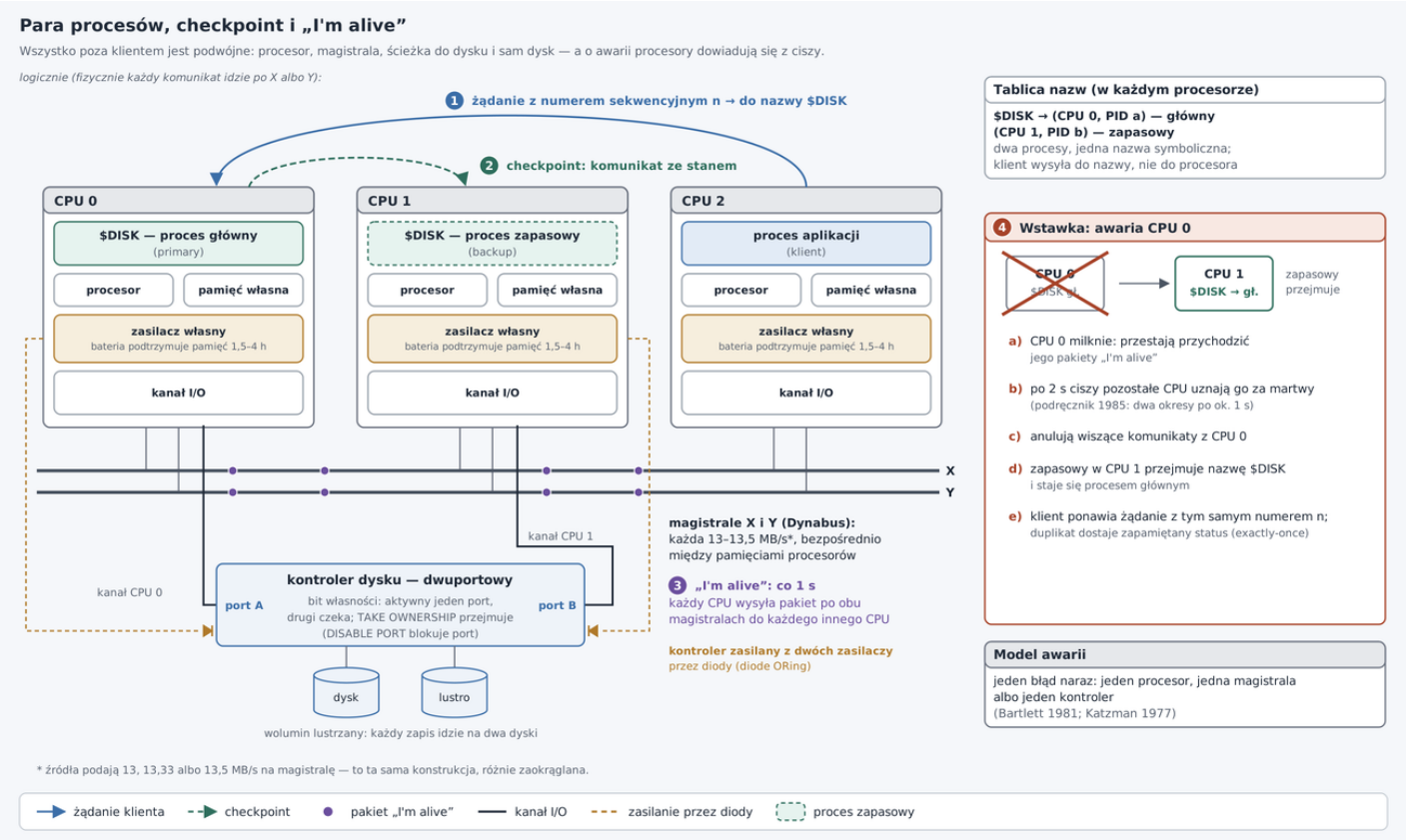
Proces główny wykonuje pracę i w ważnych momentach wysyła do zapasowego **checkpoint** — komunikat z bieżącym stanem, wystarczającym, żeby zapasowy mógł podjąć pracę w tym samym miejscu. Zapasowy niczego nie liczy, tylko odbiera checkpointy. Kiedy procesor głównego umrze, zapasowy staje się głównym, a nazwa symboliczna wskazuje odtąd na niego.

Pozostaje jeden problem: klient, którego żądanie było w toku, nie wie, czy główny zdążył je wykonać. Jeśli ponowi żądanie, operacja może się wykonać dwa razy — a przy przelewie albo zapisie na dysk to katastrofa. Guardian rozwiązywał to **numerami sekwencyjnymi**: żądania, których nie wolno powtórzyć, były numerowane, a serwer pamiętał status ostatnio wykonanego. Duplikat dostawał zapamiętany wynik zamiast ponownego wykonania — dziś nazwalibyśmy to semantyką „dokładnie raz” (exactly-once).



Animacja 1. *Para procesów w akcji: checkpoint, cisza w „I'm alive” i przejęcie nazwy. Dzięki checkpointom i numerom żądań awaria procesora kończy się kilkusekundowym czekaniem klienta, a nie utraconą ani podwójnie wykonaną operacją (nazwa $DISK, numery żądań i chwile zdarzeń są przykładowe).*

Pary procesów dla urządzeń tworzono przy konfiguracji systemu; pary aplikacyjne tworzył sam proces główny, uruchamiając swoją kopię w innym procesorze. Role można było zamieniać — na przykład żeby rozłożyć obciążenie albo opróżnić procesor przed serwisem.



Rysunek 2. *Para procesów w Guardianie: główny pracuje i wysyła checkpointy, zapasowy w innym procesorze tylko słucha; gdy pakiety „I'm alive” przestają przychodzić, zapasowy przejmuje nazwę, a numery sekwencyjne pilnują, żeby ponowione żądanie nie wykonało się dwa razy. Warto zauważyć, że wszystko na rysunku występuje podwójnie — poza klientem.*

Ten model ma swoją cenę: **programowanie checkpointów jest trudne**. Programista musi zdecydować, kiedy i jaki stan wysłać zapasowemu, i zrobić to bez błędu, bo źle napisany checkpoint jest gorszy niż żaden — zapasowy przejmie pracę z niespójnym stanem. Gray w 1985 roku napisze o tym otwarcie i wskaże wyjście: transakcje.

Nad Guardianem: Expand, Pathway, Encompass i TMF (1976–1985)

Zestaw z 1979 roku: wszystko na literę E

Datapro w styczniu 1979 roku wymienia całe oprogramowanie, które Tandem wtedy oferował. Większość nazw zaczyna się na „E”, co wyglądało na firmową konwencję:

- **Guardian** — system operacyjny, jedyny oferowany;
- **Enscribe** — system plików i baza rekordów; nazwa wciąż pada w ogłoszeniach o pracę z ostatnich lat;
- **Expand** — oprogramowanie sieciowe, które Datapro nazywa „Guardian/Expand”: rozszerzało model komunikatów Guardiana z jednego węzła na wiele;
- **Envoy** — komunikacja danych;
- **Enform** — język zapytań i raportów;
- **Entry** — formatowanie ekranów;
- **Sort** i **Exchange** — sortowanie i zdalne wprowadzanie zadań (RJE) do maszyn wielkich;
- języki **TAL**, COBOL i FORTRAN.

TAL to Transaction Application Language — rozwinięcie skrótu potwierdza tytuł podręcznika z marca 1985 roku. Datapro opisuje go jako własny, blokowy język proceduralny Tandemu, zaprojektowany pod architekturę Tandem/16 z myślą o „ease of programming”. W 2026 roku HPE wciąż prowadzi czterodniowy kurs „TAL/pTAL Programming”.

Expand i FOX: od węzła do sieci

Model komunikatów Guardiana miał jedną cechę, która aż prosiła się o sieć: program nie wiedział, gdzie jest jego rozmówca. Expand wykorzystał to wprost. Według Bartletta sieć Tandemu mogła liczyć do 255 węzłów, a każdy węzeł to system od 2 do 16 procesorów. Expand jest już w raporcie Datapro ze stycznia 1979 roku; dokładnej daty premiery nie ustaliłem.

W 1983 roku do Expandu doszedł **FOX** — światłowodowy pierścień dla systemów stojących blisko siebie. Według raportu technicznego Tandemu z 1990 roku (Tandem TR 90.5, 1990) FOX łączył do 14 systemów po 16 procesorów, czyli do 224 procesorów, z odległością do 1 km między sąsiadami (FOX II, wprowadzony z VLX-em — do 4 km) i przepustowością do 4 MB/s na węzeł, po czterech światłowodach do każdego sąsiada. Liczba 224 wróci dziesięć lat później w Himalayi, gdzie „domena” będzie miała dokładnie tyle procesorów.

Pathway: środowisko aplikacji

Następnym ważnym produktem był **Pathway**. W raporcie Datapro ze stycznia 1979 roku go jeszcze nie ma, ale Computer History Museum ma w zbiorach „TANDEM 16 — Pathway reference manual” z 1980 roku — Pathway istniał więc najpóźniej w 1980 roku.

Opis pakietu Encompass w „Computerwoche” z 1980 roku przypisuje Pathwayowi definicję transakcji i sterowanie programami; front-end terminali, formatowanie ekranów i walidację danych wymienia jako osobne składniki. Szczegółów działania Pathwaya w tamtej wersji moje źródła nie podają. Nazwa przetrwała w świecie NonStop na długo: w polskich ogłoszeniach o pracę z lat 2020.

„PATHWAY” wciąż figuruje na liście wymaganych umiejętności, choć monitor transakcji NonStop od 1994 roku nazywa się TS/MP. Opisy HPE Virtualized NonStop z 2017 roku przedstawiają TS/MP jako monitor transakcji, dawniej Pathway — dokumentacją HPE tego utożsamienia nie sprawdziłem — a w katalogu szkoleń HPE z 2026 roku nadal jest kurs „Pathway Application Programming I (COBOL)”.

Encompass i TMF: transakcje w sieci

29 VIII 1980 roku „Computerwoche” opisała nowy pakiet Tandem Computers GmbH z Frankfurtu: **Encompass**, rozproszony system zarządzania danymi do przetwarzania transakcji na danych rozrzuconych geograficznie. Składał się z front-endu do terminali, protokołów linii, formatowania ekranów, walidacji danych, definicji transakcji i sterowania programami (czyli Pathwaya), słownika danych oraz języka zapytań z generatorem raportów (Enform). Nowością były rozproszone dzienniki audytu, **Transaction Monitoring Facility (TMF)**, wycofywanie transakcji w całej sieci i odtwarzanie plików rozproszonych po błędzie logicznym albo po utracie łączności z węzłem.

Tandem twierdził wtedy, że jako jedyny producent ma logowanie i wycofywanie transakcji — to deklaracja firmy, której nie mam jak sprawdzić. Cena w RFN: licencja 27 352 DM na system plus mikrokod za 6838 DM na każdy procesor, dostawy od początku 1981 roku. Szefem niemieckiej spółki był Horst Enzelmüller. Bitsavers ma podręcznik „Introduction to the Transaction Monitoring Facility” z października 1980 roku, a „TMF Reference Manual” — z marca 1985.

Czym TMF różnił się od checkpointów? Para procesów chroni *proces*, TMF chroni *dane*: zmiany w wielu plikach, nawet na różnych węzłach, wchodzą w życie wszystkie naraz albo żadna.

Architekturę rozproszonych transakcji w Encompassie opisała naukowo Andrea J. Borr w artykule „Transaction Monitoring in ENCOMPASS: Reliable Distributed Transaction Processing”, wygłoszonym na konferencji VLDB w Cannes (9–11 IX 1981, s. 155–165). Spisany w 1995 roku zjazd twórców baz relacyjnych („1995 SQL Reunion”) przypomina, że nad TMF, który był wtedy „in the making”, pracowali Jim Gray i John Nauman — obaj przyszli do Tandemu na przełomie 1980 i 1981 roku. Gray napisał przy okazji firmową książkę telefoniczną TELE.

Gray przychodzi z IBM

Jim Gray przyszedł do Tandemu z IBM, gdzie powstawał System R, prototyp relacyjnej bazy z językiem SQL (więcej o nim na stronie **Mainframe i z/OS**); w spisanym zjeździe twórców System R z 1995 roku Gray jest jednym z głównych rozmówców. W Tandemie dostał stanowisko Software Designer w Cupertino; sam określał przejście jako „career change”. Kiedy dokładnie przyszedł, źródła podają różnie: biogram ACM i wspomnienie National Academy of Engineering mówią o 1980 roku, a John Nauman na zjeździe w 1995 roku powiedział, że sam przyszedł w 1981 roku, „right after Gray”, co wskazuje raczej na przełom 1980 i 1981 roku[9]. Został do 1990 roku, potem przeszedł do DEC, a w 1995 roku — do Microsoftu.

Jim Gray w 2006 roku — autorka zdjęcia podpisała go jako kierownika grupy eScience w Microsoft R

Jim Gray w 2006 roku — autorka zdjęcia podpisała go jako kierownika grupy eScience w Microsoft Research („manager of Microsoft Research's eScience Group"). Źródło: Flickr, CC BY-NC 2.0, autor: Esther Dyson.

Ta dekada dała trzy rzeczy, które przetrwały: TMF, NonStop SQL i raport z 1985 roku o tym, dlaczego komputery stają.

Firma w latach osiemdziesiątych: podwajanie co rok i pierwsze rysy

Sześć lat podwajania

Liczby z pierwszej dekady wyglądają jak z podręcznika o startupach. Według „International Directory of Company Histories", który opiera się na raportach rocznych firmy, przychód wyniósł w 1979 roku 56 mln USD, a przez sześć lat podwajał się co rok. „Computerwoche" z 5 III 1982 roku podała wyniki roku obrotowego 1981: 208,4 mln USD przychodu (o 91% więcej niż rok wcześniej) i 26,54 mln USD zysku netto (z 10,68 mln, czyli o 149% więcej). Tandem dostarczył do tej pory **1210 systemów 310 klientom**, baza zainstalowana urosła w ciągu roku o 93%, a firma zatrudniała 2730 osób w około 70 lokalizacjach w 14 krajach. Niemiecka spółka miała 64,07 mln DM obrotu (o 138% więcej), 226 procesorów u klientów, 8 oddziałów i 200 pracowników.

W 1982 roku przychód wyniósł 312 mln USD — po korekcie, bo pierwotnie ogłoszono 336 mln. Ta korekta miała ciąg dalszy: również w 1982 roku Komisja Papierów Wartościowych i Giełd (SEC) wszczęła dochodzenie w sprawie księgowania przychodów, a zarzuty oszustwa zakończyły się ugodą bez kar. Firma zatrudniała wtedy około 3000 osób, a cennik obejmował konfiguracje od 2 do 16 procesorów w cenach od około 120 tysięcy do około 2,7 mln USD.

Dalej było już mniej równo. Wiosną 1984 roku zyski spadły o 80%. W 1985 roku przychód wynosił 624 mln USD, w 1987 — 1,035 mld przy około 7000 pracowników w 150 biurach. Tytuły prasy z tych lat układają się w krótką opowieść: „How Jimmy Treybig Turned Tough" („Fortune", 1987), „Why Tandem Struggles While Its Market Sizzles" („Business Week", 1988).

Kłopoty w RFN: cena mainframe'u, wydajność minikomputera

Najciekawszy obraz trudności daje znowu prasa niemiecka. „Computerwoche" z 1 X 1982 roku zatytułowała artykuł „Tandem: Probleme nach NonStop-Höhenflug" — problemy po locie w górę.

Według informatorów gazety niemiecka spółka pozyskała w ciągu roku tylko około sześciu nowych klientów (jej szef Josef Bröker mówił o czternastu); Otto-Versand nie uruchomił systemu magazynowego, bo oprogramowanie okazało się niedoszacowane, a Klinikum Darmstadt skarżyło się na wydajność i dostało duże rabaty.

Gazeta wymieniała przyczyny: nastawienie na wielkich klientów, drogi dolar, brak specjalistów i starzejąca się, 16-bitowa architektura. Najkrócej ujęła to w jednym zestawieniu: **NonStop II kosztował około miliona marek — cenę maszyny wielkiej — a dawał wydajność minikomputera**. Horst Enzelmüller, w 1980 roku szef niemieckiej spółki, mówił: *„Für unser Konzept kann es nur Großkunden geben”* — dla naszej koncepcji mogą istnieć tylko wielcy klienci.

Odporność na awarie była warta swojej ceny tylko dla tych, którym przestój kosztował bardzo dużo: banków, giełd, operatorów kart.

Giełdy, banki, karty

Tam, gdzie przestój kosztował dużo, Tandem był mocny. W połowie 1986 roku z jego komputerów korzystało **15 giełd**, w tym nowojorska NYSE, i 30 domów maklerskich na świecie. Blog ITUG Connection z 2018 roku — prowadzony w środowisku użytkowników NonStop, autor wpisu nie jest podpisany — opisuje, jak to się zaczęło: pod koniec lat siedemdziesiątych banki chciały sieci bankomatów, ale nie podłączonych bezpośrednio do maszyn wielkich, a zwykłe front-endy nie umiały uruchamiać oprogramowania płatniczego. Tandem zaczynał więc jako **inteligentny front-end**, stojący przed maszyną wielką. Według relacji kolekcjonera z listy cctalk (2019) banki w Kanadzie używały Tandemów jako front-endów sieci Interac.

Komputer Tandem na zdjęciu z 1 IV 2006 roku, podpisanym „the first serious fault-tolerant, nonstop

Komputer Tandem na zdjęciu z 1 IV 2006 roku, podpisanym „the first serious fault-tolerant, nonstop computer system”; autorka dodała, że te maszyny były mocne w telekomunikacji i bankowości. Źródło: Flickr, CC BY-NC 2.0, autor: Esther Dyson.

W październiku 1987 roku Tandem został wybrany do dostaw odpornych maszyn dla kilku banków w brytyjskim systemie płatności kartami w sklepach EftPos UK; testowano NonStop VLX, a NatWest i Midland już się zdecydowały. Oprogramowanie dostarczała firma Applied Communications należąca do US West — późniejsze ACI Worldwide, twórca systemu BASE24 — którą Tandem kupił w 1991 roku. W listopadzie 1988 roku Tandem miał też spółkę zależną **Atalla** z San Jose, producenta sprzętowych modułów bezpieczeństwa do PIN-ów. Jej system CAPS 2000 (Card Activation and PIN Selection) działał na każdym NonStopie; konfiguracja bazowa — NonStop CLX 620, Guardian, CAPS i dwa moduły Atalla CAPS A5 — kosztowała 145 000 USD i obsługiwała do 240 terminali w oddziałach banku.

Mimo to Tandem nie był firmą wyłącznie bankową. „Computer Business Review” z 13 IX 1990 roku podaje strukturę sprzedaży: bankowość dawała historycznie 20–25% przychodu, inne firmy finansowe około 15%, domy maklerskie zwykle 8–10% — a w 1990 roku już tylko 2–5%. W 1989 roku Tandem wygrał z IBM czteroletni kontrakt za 50 mln USD dla kalifornijskiego urzędu

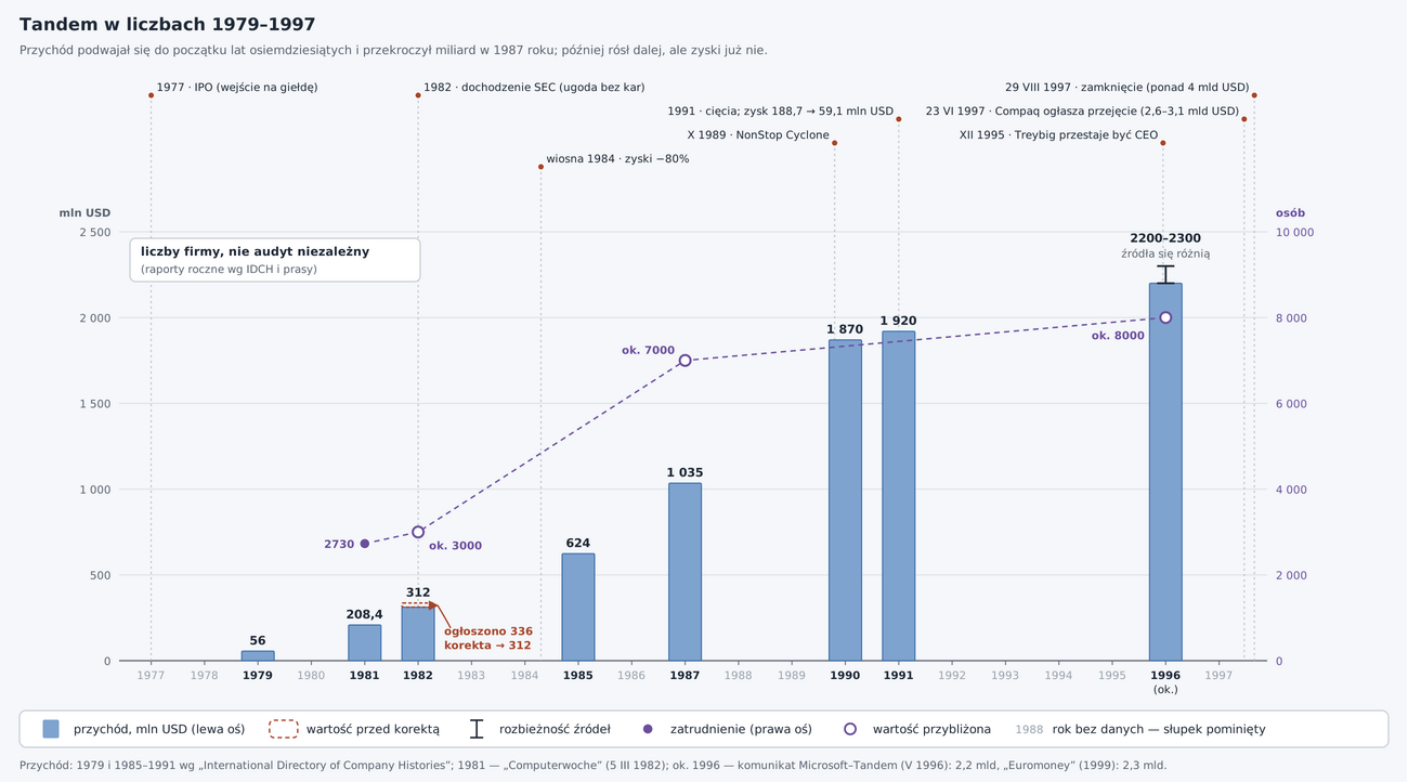
komunikacji (DMV); wśród klientów z tamtego roku historia firmy wymienia też Humanę, Kaiser Permanente i McKessona.

Kontrakt przegrany między innymi przez brak UNIX-a

Rok 1987 przyniósł nowy model CLX, ale też kłopoty z dokończeniem oprogramowania do niego — i jedną bolesną porażkę: Tandem przegrał kontrakt wart miliard dolarów na system szpitalny dla armii amerykańskiej, według historii firmy częściowo dlatego, że nie miał UNIX-a. Własnego UNIX-a Tandem pokazał w 1990 roku — w maszynie Integrity S2, opisanej niżej. W czerwcu 1988 roku kupił za 271,4 mln USD firmę Ungermann-Bass.

Kultura: piwo, basen i Hawaje

O kulturze Tandemu źródła piszą równie chętnie jak o technice. Obok piątkowego Beer Bust w siedzibie był basen; firma miała własną telewizję wewnętrzną (Tandem Television Network) i program spotkań „First Friday”. Holenderski „Computable” opisuje spotkania „Tops” (Tandem Outstanding Performers), na które zapraszano co dwunastego pracownika — do luksusowych miejsc, takich jak Hawaje — z wyjątkiem handlowców. Credo Treybiga według tego samego artykułu brzmiało *„Management goes to bed last”* — kierownictwo idzie spać ostatnie. Treybig był też licencjonowanym krótkofalowcem i potrafił wykupić w samolocie osobne miejsce na sprzęt radiowy.



Rysunek 3. *Przychody i zatrudnienie Tandemu według danych firmy: szybkie podwajanie do początku lat osiemdziesiątych, miliard dolarów w 1987 roku, potem wzrost przychodu przy spadających zyskach. Puste miejsca na osi to lata, dla których nie mam liczby — nie należy ich czytać jako spadku.*

Gray 1985: dlaczego komputery stają

> **Dla administratora to najważniejszy rozdział tej strony.** Wszystko, co wyżej opisałem — dwie magistrale, dwa zasilacze, pary procesów — chroni przed awariami sprzętu. Raport Graya z 1985 roku pokazuje, że w systemach tak zbudowanych sprzęt przestaje być głównym problemem, a na pierwsze miejsce wychodzą ludzie, którzy system obsługują, i oprogramowanie, które na nim działa. Te wnioski nie zestarzały się przez czterdzieści lat.

Raport techniczny 85.7

W czerwcu 1985 roku Jim Gray, wtedy pracownik Tandemu, wydał raport techniczny firmy numer 85.7 pod tytułem **„Why Do Computers Stop and What Can Be Done About It?”**; w listopadzie 1985 roku ukazała się wersja poprawiona. Pełny tekst krąży w sieci na stronach kursów uniwersyteckich, a w 2017 roku Werner Vogels, dyrektor techniczny Amazona, polecał go na swoim blogu jako lekturę z cyklu „Back-to-Basics Weekend Reading”. Biogram Graya na stronie Nagrody Turinga, którą dostał w 1998 roku, wymienia go jako *„one of the first papers”* ze statystyką awarii produkcyjnych systemów odpornych na awarie.

Trzeba od razu powiedzieć, czym ten raport jest, a czym nie. To nie jest niezależne badanie. Autor był pracownikiem Tandemu, a dane pochodziły z raportów serwisowych Tandemu o systemach jego klientów. Wnioski o przewadze Tandemu trzeba więc czytać jak liczby producenta; wnioski o *strukturze* przyczyn mają inną wagę, bo producent nie miał interesu w ogłaszaniu, że jego oprogramowanie zatrzymuje systemy częściej niż sprzęt.

Próba: ponad 1300 lat pracy systemów

Gray przeanalizował dane z ponad 2000 systemów klientów, które przepracowały łącznie ponad 10 milionów godzin systemowych — ponad 1300 lat-systemów. W ciągu siedmiu miesięcy zgłoszono 166 awarii, w tym jeden pożar i jedną powódź. Gray szacuje, że zgłoszenia obejmowały mniej więcej połowę wszystkich awarii, bo nie każdy przestój trafiał do serwisu.

Z tych liczb wychodzi średni czas między awariami całego systemu (MTBF): **7,8 roku** według zgłoszeń i **3,8 roku** po uwzględnieniu systematycznego niedoraportowania. W tekście raportu: *„Overall, this gives a system MTBF of 7.8 years reported”* i *„3.8 years MTBF if the systematic under-reporting is taken into consideration”*. Jeśli odjąć awarie „wieku niemowlęcego” — nowych instalacji, świeżo wgranego oprogramowania i nowego sprzętu — oraz awarie dysków, które klienci zostawili bez lustra, wychodzi ponad 11 lat.

Dla porównania Gray podaje, jak wyglądał konwencjonalny, dobrze zarządzany system transakcyjny: awaria mniej więcej co dwa tygodnie[10]. Raport Tandemu z 1990 roku (Tandem TR 90.5, 1990) dopowiada, że taki przestój trwał zwykle około godziny, co daje dostępność rzędu 99,6%. Celem Tandemu był MTBF liczony w latach; raport z 1990 roku wymienia jako faktyczny cel sto lat. Tandem był więc według Graya lepszy o ponad dwa rzędy wielkości. To jest liczba firmowa; ważniejsze jest to, co wyszło z rozbicia przyczyn.

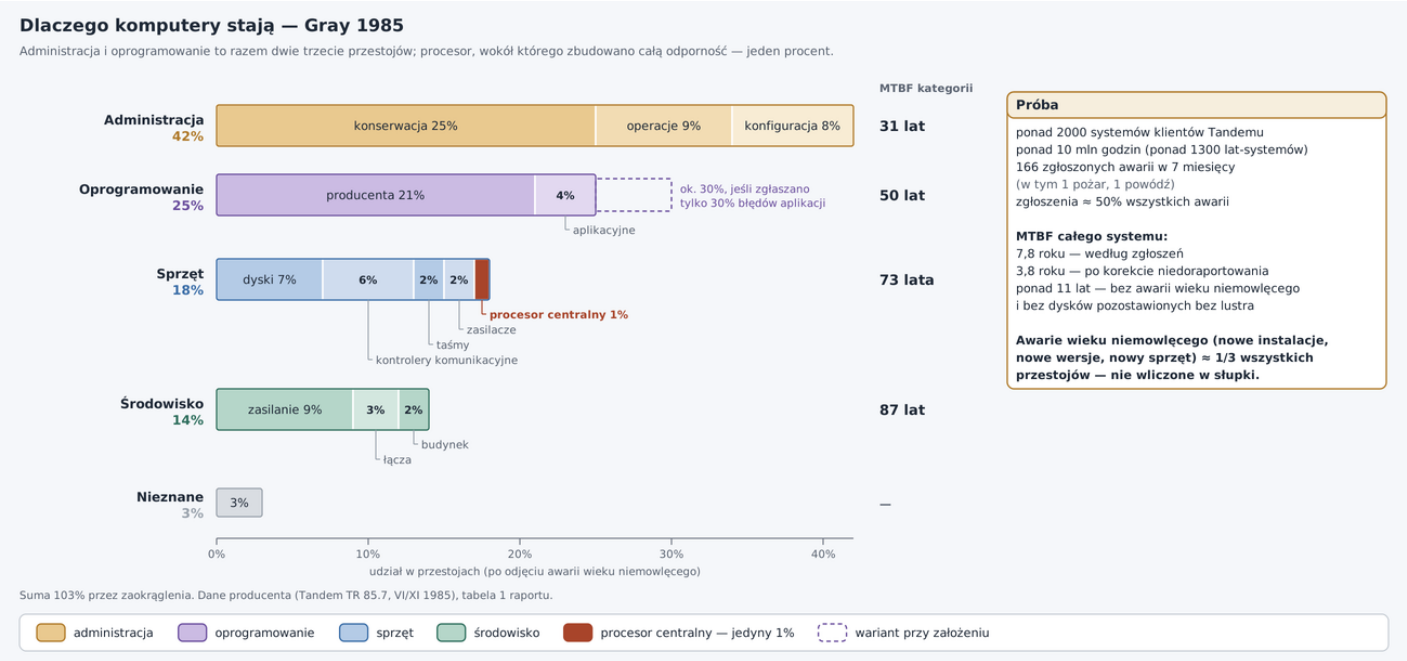
Przyczyny: administracja na pierwszym miejscu

Tabela 1 raportu, po odjęciu awarii wieku niemowlęcego, wygląda tak:

Kategoria	Udział w przestojach	MTBF kategorii	Składniki
Administracja	42%	31 lat	konserwacja 25%, operacje 9%, konfiguracja 8%
Oprogramowanie	25%	50 lat	producenta 21%, aplikacyjne 4% (przy założeniu, że zgłaszano tylko 30% błędów aplikacji — około 30%)
Sprzęt	18%	73 lata	dyski 7%, kontrolery komunikacyjne 6%, taśmy 2%, zasilacze 2%, procesor centralny 1%
Środowisko	14%	87 lat	zasilanie 9%, łącza 3%, budynek 2%
Nieznane	3%	—	—

Suma wynosi 103% przez zaokrąglenia. Gray streszcza tabelę jednym zdaniem: *„Administration and software dominate, hardware and environment are minor contributors to total system outages.”*

Warto zatrzymać się nad kilkoma liczbami. Procesor centralny — ten element, wokół którego zbudowano całą architekturę par procesów — odpowiadał za **jeden procent** przestojów. Natomiast **konserwacja** odpowiadała za co czwarty przestój. Architektura zrobiła z awarii sprzętu rzadkość — i na pierwszy plan wyszło wszystko inne.



Rysunek 4. *Struktura przestojów w systemach Tandem według Graya: administracja i oprogramowanie razem to dwie trzecie, a procesor — wokół którego zbudowano całą odporność — zaledwie jeden procent. Awarie świeżych instalacji, około jednej trzeciej wszystkich, są tu odjęte, bo Gray liczy je osobno.*

Wiek niemowlęcy i ludzie

Dwie liczby z raportu są szczególnie cenne dla administratora. Pierwsza: awarie **wieku niemowlęcego** — nowe instalacje, nowe wersje oprogramowania, nowy sprzęt — stanowiły około jednej trzeciej wszystkich przestojów.

Druga: administratorzy systemów Tandem popełnili w ponad 1300 latach-systemów **41 krytycznych błędów**, czyli średnio jeden na 31 lat pracy systemu. A mimo to administracja była największą kategorią przyczyn. Wniosek nie brzmi więc „ludzie są niedbali”, tylko: kiedy sprzęt przestaje się psuć, każdy ręczny krok przy systemie staje się najbardziej prawdopodobną przyczyną jego zatrzymania.

Heisenbugi i Bohrbugi

Z oprogramowaniem Gray zmierzył się bez złudzeń. System Tandemu liczył wtedy około 4 milionów wierszy kodu. Gray zakłada — jak sam pisze, konserwatywnie — jeden błąd na tysiąc wierszy, co oznacza, że w działającym systemie zostają tysiące błędów. Nie da się ich wszystkich znaleźć; trzeba z nimi żyć.

Tu pada podział, który wszedł do języka informatyki: *„Heisenbugs that go away when you look at them”* — **Heisenbugi**, które znikają, gdy się na nie patrzy, i *„Bohrbugs, like the Bohr atom, are solid, easily detected by standard techniques, and hence boring”* — **Bohrbugi**, twarde jak atom

Bohra, łatwe do wykrycia standardowymi metodami i przez to nudne.

Gray podaje wynik eksperymentu ze spoolerem wydruku Tandemu: z **132 błędów oprogramowania tylko jeden był Bohrbugiem**, wszystkie pozostałe — Heisenbugami. W drugiej wersji raportu pada zdanie, które to uogólnia: *„most production software faults are soft”*. Z tego płynie praktyczny wniosek o parach procesów: jeśli proces główny padnie na Heisenbugu, proces zapasowy, który ponowi tę samą operację w czystym stanie, w innym procesorze i w innej chwili, najpewniej jej nie powtórzy. Para procesów, wymyślona do ochrony przed awariami sprzętu, okazała się leczyć większość błędów oprogramowania.

Gray zestawia to z podejściem IBM. W systemie MVS/XA procedury odtwarzania (functional recovery routines, FRR) obejmowały około 90% kodu systemowego i skutecznie odtwarzały działanie w 76% przypadków, co według Graya wydłużało MTBF oprogramowania mniej więcej czterokrotnie. Szerzej o tym świecie pisze strona **Mainframe i z/OS**.

Fail-fast: albo dobrze, albo wcale

Pierwsza z zasad Graya brzmi: *„Make each module fail-fast — either it does the right thing or stops.”* Moduł, który wykrył błąd, nie powinien próbować dalej pracować w nieznanym stanie, bo wtedy zepsuje dane albo zarazi innych. Powinien się zatrzymać — a zatrzymanie musi być wykrywalne, żeby zapas mógł przejąć pracę. Raport z 1990 roku definiuje to samo od strony sprzętu: *„Fail-fast logic is defined as logic that either works properly or stops.”* To jest zalążek, który u Katzmana brzmiał „any processor detecting such an error will halt”.

Gray dodaje obliczenie, które pokazuje, dlaczego fail-fast jest tak skuteczne. Odwołuje się do Johna von Neumanna: żeby z zawodnych elementów zbudować system o MTBF stu lat, trzeba by nadmiarowości rzędu 20 000 — jeśli elementy psują się w dowolny sposób. Jeśli każdy moduł jest fail-fast, czyli albo działa dobrze, albo staje, nadmiarowość rzędu **dwóch** wystarcza. Całą architekturę Tandemu — pary procesorów, pary procesów, pary kontrolerów — można czytać jako zastosowanie tej jednej obserwacji.

Od checkpointów do transakcji

Najbardziej techniczna część raportu porównuje odmiany par procesów:

- **Lockstep** — dwie kopie wykonują to samo w tym samym takcie. Nie chroni przed Heisenbugami, bo obie kopie przy tym samym wejściu padną tak samo.
- **Checkpointing stanu** — główny wysyła zapasowemu stan w wybranych punktach, jak w opisie Bartletta; Gray omawia też jego odmianę automatyczną.
- **Checkpointing różnicowy (delta)** — przesyła się tylko zmiany; według Graya zmniejszyło to ruch komunikatów o połowę, a liczbę przesyłanych bajtów mniej więcej trzykrotnie.
- **Procesy trwałe** (persistent) — zapasowy startuje „z amnezją”, a checkpointuje się tylko otwarcie i zamknięcie sesji.

Ocena Graya jest dwuznaczna i uczciwa. *„Experience shows that checkpointing process-pairs give excellent fault-tolerance”* — ale *„programming checkpoints is difficult”*. Procesy trwałe są łatwe do napisania, ale mają wadę: *„The only problem with persistent processes is that they do not hide failures!”* Zapasowy, który wstaje bez pamięci o tym, co robił główny, nie wie, które operacje zostały wykonane do połowy.

Rozwiązaniem są **transakcje**. Jeśli każda operacja na danych jest częścią transakcji — wszystko albo nic — to zapasowy z amnezją nie musi wiedzieć, co robił główny: transakcje niedokończone zostaną wycofane, dokończone są zapisane, a klient po prostu ponowi swoją. Abstrakt raportu nazywa połączenie transakcji z trwałymi parami procesów *„the key to software fault-tolerance”*. Nad TMF Gray pracował od przyjścia do Tandemu, a równolegle z pisaniem raportu — nad relacyjną bazą danych.

Co Gray przewidział

W drugiej wersji raportu pada jeszcze jedno zdanie: *„Systems are getting more complex.”* Gray przewidywał, że trend dla oprogramowania i administracji będzie gorszy niż dla sprzętu: sprzęt będzie się poprawiał, a złożoność softu i jego obsługi — rosła. Kontynuacji z 1990 roku, „A Census of Tandem System Availability Between 1985 and 1990” (Tandem TR 90.1), nie odczytałem, więc jej liczb nie podaję.

Lekcje dla administratora w 2026 roku

Raport dotyczy systemów sprzed czterdziestu lat, ale jego wnioski przekładają się wprost na dzisiejsze środowiska. Tutaj biorę na siebie interpretację — liczby są Graya, wnioski moje:

- **Zmiana jest największym ryzykiem.** Co trzeci przestój brał się ze świeżej instalacji, a co czwarty z prac konserwacyjnych. Okna serwisowe, procedury wycofania zmian i testy na środowisku przedprodukcyjnym nie są biurokracją, tylko odpowiedzią na najliczniejszą kategorię przyczyn.
- **Nadmiarowość sprzętu przesuwa problem, a nie usuwa go.** Klaster, macierz z lustrami i podwójne zasilacze sprawiają, że sprzęt przestaje być główną przyczyną przestojów — i odsłaniają ludzi oraz oprogramowanie.
- **Restart leczy większość błędów, ale nie wolno na tym poprzestać.** 131 z 132 błędów spoolera znikało przy ponowieniu. Usługa, która sama wstaje po awarii, ukrywa Heisenbugi — i dobrze, dopóki ktoś czyta logi i wie, że się zdarzają.
- **Fail-fast zamiast „jakoś to będzie”.** Proces, który przy niespójnym stanie się zatrzymuje, jest bezpieczniejszy niż proces, który pracuje dalej i psuje dane.
- **Nawet bardzo dobrzy administratorzy są statystycznie największym ryzykiem.** Jeden krytyczny błąd na 31 lat pracy systemu to wynik wybitny — i wciąż pierwsze miejsce w tabeli. Automatyzacja powtarzalnych kroków zmniejsza liczbę okazji do pomyłki.

NonStop SQL: baza, której IBM miał nie wydać

Zespół i harmonogram

Historię NonStop SQL opowiada spisany zjazd twórców System R i SQL z 1995 roku („1995 SQL Reunion”, red. Paul McJones), w którym rozdział o Tandemie opowiadają sami uczestnicy. Wynika z niego, że w Tandemie przed SQL-em stały dwa produkty: system plików i baza rekordów ENSCRIBE oraz język zapytań ENFORM. John Nauman sprowadził do zespołu Franco Putzolu, który napisał niskopoziomową warstwę danych; Putzolu odszedł na pewien czas — po prezentacji o konkurencyjnym projekcie — do firmy Esvel, a potem wrócił. Andrea Borr przeszła z TMF do systemu plików. Mike Pong dołączył jako autor optymalizatora około dwóch miesięcy po starcie projektu, który ruszył w **1984 roku**.

Gray tłumaczył na zjeździe, dlaczego Tandem w ogóle wziął się za relacyjną bazę: *„we were convinced that IBM would never ship”* — byli przekonani, że IBM swojej nigdy nie wypuści. Kierownictwo dawało projektowi 50% szans na wydanie w 1986 roku i 90% na 1987. Beta przyszła w 1987 roku, około trzech miesięcy po terminie. Pierwsze wydanie nastawiono na przetwarzanie transakcyjne (OLTP), a wersja z równoległym wykonywaniem zapytań przyszła około dwóch lat później, w okolicach 1989 roku. Gray przyznawał, że pierwsza wersja nie miała więzów integralności referencyjnej, wyzwalaczy ani kluczy obcych.

Uczestnicy zjazdu nie szczędzili sobie ocen. Putzolu: *„I think it's still the best engine around”* i *„no other system does locking right”*, ale też: *„We made some major mistakes and I was responsible for some of them.”* Pong podsumował los produktu na rynku zdaniem, które mogłoby być mottem całej firmy: *„Unfortunately for Tandem, marketing for the feature did not exist until about two years ago.”*

Równolegle w Tandemie powstawał konkurencyjny projekt — Rainbow, przemianowany potem na Crystal i Catalyst — wydzielony około 1990 roku jako firma Cooperative Solutions (produkt Ellipse), którą później kupiła Bachman Information Systems.

Rozproszona, równoległa, bez współdzielenia

Tandem opisał produkt w raporcie technicznym 87.4 „NonStop SQL, a distributed, high-performance, high-availability implementation of SQL” z 1987 roku, a wyniki wersji 2 — w raporcie o „near linear speedup and scaleup” (Englert, Gray, Kocher, Shah). Raportu 87.4 nie odczytałem — archiwum HP, w którym leży, blokuje automatyczne pobieranie. Na bitsavers jest za to „NonStop

SQL Benchmark Workbook” z marca 1987 roku.

Uniwersytecka baza dbdb.io podaje szczegóły, które prawdopodobnie pochodzą z raportu 87.4, ale których nie zweryfikowałem: NonStop SQL od 1987 roku jako *„first distributed SQL system with fast OLTP performance”*, napisany w C przez około 25 programistów w około trzy lata, liczący około pół miliona wierszy kodu, z blokadami na poziomie wiersza i dwufazowym blokowaniem z limitami czasu, w architekturze bez współdzielenia między woluminami dyskowymi. Jako potomka wymienia hurtownię danych HP Neoview.

Gray uczestniczył w projekcie od pomysłu — biogram ACM pisze, że *„was involved from the initial conception”* — a przy okazji zaprojektował benchmarki zorientowane na użytkownika i pomógł założyć Transaction Processing Performance Council (TPC). Wspomnienie w „Memorial Tributes” National Academy of Engineering nazywa NonStop SQL wprost *„parallel relational database system”*.

Nagroda Turinga Jima Graya z 1998 roku w gablocie w budynku 113 Microsoft Research w Redmond

Nagroda Turinga Jima Graya z 1998 roku w gablocie w budynku 113 Microsoft Research w Redmond. Źródło: Flickr, CC0, autor: Wonderlane.

W 1994 roku Tandem wprowadził **NonStop SQL/MP**; obok niego istnieje dziś SQL/MX — w ogłoszeniach o pracę z lat 2020. figurują obie nazwy, a SQL/MX R3.9 wyszedł w wydaniu systemu z sierpnia 2024 roku.

Generacje sprzętu: od NonStop II do Cyclone (1981–1989)

Siedem procesorów w jednej architekturze

Raport techniczny Tandemu z 1990 roku „Fault Tolerance in Tandem Computer Systems” (Tandem TR 90.5, 1990), napisany przez Joela Bartletta, Wendy Bartlett, Richarda Carra, Dave'a Garcię, Jima Graya, Roberta Horsta, Roberta Jardine'a, Dana Lenoskiego i Dixa McGuire'a jako rozdział do drugiego wydania książki Siewiorka, zestawia generacje procesorów:

Procesor	Rok	MIPS na procesor	Cykl	Technologia	Procesorów w systemie	Instrukcji
NonStop I	1976	0,7	100 ns	MSI	2–16	173
NonStop II	1981	0,8	100 ns	MSI	2–16	285

Procesor	Rok	MIPS na procesor	Cykl	Technologia	Procesorów w systemie	Instrukcji
TXP	1983	2,0	83 ns	MSI/PAL/FAST	2–16	285
VLX	1986	3,0	83 ns	matryca bramek ECL	2–16	285
CLX 600	1987	1,0	133 ns	własne układy CMOS	1–6	306
CLX 700	1989	1,5	91 ns	własne układy CMOS	2–8	306
Cyclone	1989	10,0	45 ns	ECL/CMOS/TTL	2–16	306

Maksymalna pamięć na procesor wynosiła według tej tabeli 2 MB w NonStop I i 2 GB w Cyclone; wartości dla generacji pośrednich są w dostępnej mi kopii nieczytelne. Podręcznik „System Description Manual” z marca 1985 roku dopowiada szczegóły dwóch środkowych generacji: NonStop II miał zegar 100 ns (10 MHz) i mikroinstrukcje 32-bitowe z bitem parzystości, TXP — 83,33 ns (12 MHz) i mikroinstrukcje 109-bitowe; adres fizyczny sięgał 16 MB, strony miały 1024 słowa, a każdy procesor miał jeden kanał wejścia-wyjścia do 256 urządzeń. Liczbę instrukcji podręcznik podaje jako około 235 podstawowych i około 290 z opcjami dziesiętną i zmiennoprzecinkową — nieco inaczej niż raport z 1990 roku[4]. Pierwsze zdanie opisu systemu się nie zmieniło: *„The Tandem NonStop system consists of 2 to 16 processor modules.”*

Wszystkie siedem procesorów to jedna, rozbudowywana architektura z własnym zestawem instrukcji Tandemu, w późniejszych opisach nazywana TNS; liczba instrukcji rosła z każdą generacją (173, 285, 306). Jak cenna była ciągłość tego zestawu, widać w 2025 roku, kiedy HPE chwali się, że kod skompilowany dla niego starymi kompilatorami działa na Xeonach.

Szybsza magistrala

Raport z 1990 roku podaje też historię magistrali: NonStop I, II i TXP miały dwie magistrale po 13 MB/s; VLX dostał nową, dwa razy po 20 MB/s, czyli 40 MB/s w szczycie; CLX — także dwa razy po 20 MB/s, dla do ośmiu procesorów; Cyclone miał dwie magistrale po 20 MB/s i dodatkowo **DYNABUS+** : światłowody po 100 Mbit/s każdy, łącznie do 160 MB/s.

CLX: lockstep wewnątrz Tandemu

Tu pojawia się szczegół, który psuje prostą opowieść „Tandem to oprogramowanie, Stratus to sprzęt”. Procesor CLX z 1987 roku składał się z **dwóch identycznych układów pracujących w lockstepie**: *„The two IPU chips are identical, running in lock-step to form a fully selfchecking module”* — jeden układ sterował wyjściami danych, drugi wyjściami parzystości, a całość sprawdzała się sama. Lockstepu używały też kontrolery peryferiów: na przykład kontroler taśm 3207 oraz kontrolery V80 i XL80 miały po dwa procesory Motorola 68000 albo 68010, pracujące w lockstepie.

Cyclone poszedł inną drogą: bez lockstepu, za to z parzystością, przewidywaniem parzystości, kontrolą stanów niedozwolonych i zdublowaną pamięcią mikroprogramu. Przy nienaprawialnym błędzie procesor zatrzymywał się w ciągu dwóch cykli zegara.

Obie drogi służą temu samemu celowi — procesor ma być **fail-fast**. Lockstep w CLX nie zastępował par procesów, tylko je uzupełniał: na poziomie modułu dwa układy pilnowały, żeby procesor albo liczył dobrze, albo stanął; na poziomie systemu pary procesów przenosiły pracę na inny procesor. Raport z 1990 roku wspomina, że w tamtej chwili sprzęt mógł pracować dwa miesiące bez sprawiania problemów, a oprogramowanie było równie niezawodne: *„Hardware could operate for two months without generating problems; software was equally reliable.”*

Cyclone przeciw IBM

Jesienią 1989 roku Tandem wprowadził NonStop **Cyclone**, dziesięć razy szybszy od CLX 600 według tabeli producenta. Według historii firmy kosztował około jednej trzeciej ceny porównywalnego systemu IBM; „Business Week” z 23 X 1989 roku dał artykułowi tytuł „This Cyclone Is Out to Rain on IBM's Parade”. W 1991 roku przyszły Cyclone/R i CLX/R — już z procesorami RISC firmy MIPS.

Stratus i Integrity S2: kiedy Tandem przeszedł na drugą stronę

Stratus: „to samo co Tandem, tylko lepiej”

Najgroźniejszy konkurent wyrósł z tego samego środowiska. **Stratus Computer** założyli w maju 1980 roku w Marlboro w stanie Massachusetts William E. Foster — w latach siedemdziesiątych w dziale badań HP, potem w Data General — Gardner C. Hendrie i Robert A. Freiburghouse. Według „International Directory of Company Histories” Foster chciał robić *„the job his friends at Tandem were doing, only better”*. Pierwszy produkt, Stratus/32, trafił do pierwszego klienta, mleczarni West Lynn Creamery, w styczniu 1982 roku — około 21 miesięcy po założeniu firmy.

Stratus wybrał drugą filozofię: dwa procesory wykonywały te same instrukcje jednocześnie, każdy sprawdzał się sam zdublowaną logiką, a przy awarii drugi przejmował pracę automatycznie. Odporność siedziała w sprzęcie i była przezroczysta dla programisty — nie trzeba było pisać checkpointów ani przerabiać aplikacji pod pary procesów. W 1985 roku Stratus zawarł sojusz z IBM, który sprzedawał jego maszyny pod nazwą **System/88**; według bloga ITUG Connection Stratusa odsprzedawało też Olivetti. Model XA2000 miał według Stratusa moc najwyższego Tandema przy cenie o 40% niższej — to deklaracja reklamowa konkurenta. Przychody Stratusa sięgnęły 341,3 mln

USD w 1989 roku — kilka razy mniej niż Tandemu.

Integrity S2: trzy procesory i głosowanie

8 I 1990 roku „Computer Business Review” zatytułował notatkę „Tandem Adopts Majority Voting in MIPS-Based Integrity S2”. Integrity S2 był maszyną UNIX-ową z **trzema procesorami MIPS R2000**, które wykonywały to samo, a komparator sprawdzał ich wyniki. Procesor, którego wynik odstawał od pozostałych dwóch, był odłączany i uruchamiała się dla niego diagnostyka; jeśli ta nie znalazła usterki, błąd uznawano za przejściowy i procesor wracał do pracy. Ten sposób nazywa się potrójną redundancją modułową (TMR) — głosowaniem większościowym. Moc pojedynczego układu ta sama notatka podaje niekonsekwentnie[11].

Reszta maszyny była zbudowana w duchu Tandemu: zdublowana pamięć, lustrzane dyski, podwójne zasilacze, dwuportowe wejście-wyjście i własna magistrala NonStop V+, zgodna z VMEbus.

System nazywał się **NonStop-UX** i był UNIX-em System V.3, zgodnym z definicją interfejsu SVID, z dodanymi mechanizmami odtwarzania i systemem plików Berkeley FFS; miał X11, NFS i TCP/IP, a z baz danych — Oracle, Ingres i Informix. Celem były telekomy, rząd federalny USA i przemysł. Model S201 kosztował od 172 000 USD (z 16 MB zdublowanej pamięci, dwoma dyskami po 295 MB i napędem taśmy ćwierćcalowej), S204 — od 248 000 USD; licencja NonStop-UX — 12 000 USD plus opłata miesięczna, której kwota w dostępnym tekście ma najpewniej przekłamaną walutę. Maszyny były „available immediately”. Później Integrity S2 sprzedawano do telekomów.

Ciekawe jest to, co ten wybór mówi o samym Tandemie. W linii UNIX-owej firma porzuciła własną filozofię — pary procesów — na rzecz sprzętowego głosowania, czyli filozofii Stratusa i central ESS. Najbardziej prawdopodobny powód: aplikacje UNIX-owe nie były pisane pod checkpointy, a głosowanie trzech procesorów było dla nich przezroczyste. Transakcyjny trzon firmy — NonStop z Guardianem — dalej działał po staremu. Tło UNIX-ów System V tamtych lat opisują strony **UNIX** i **Komercyjne UNIX-y: AIX, HP-UX, IRIX, SCO i Xenix**.

Linia Integrity miała też dalsze odgałęzienia. W 1995 roku seria Integrity „Network Resource” to według „Computer Business Review” po prostu przemianowane serwery Silicon Graphics Challenge — NR/4412 (12 procesorów, od 97 000 USD) i NR/4436 (36 procesorów, od 149 000 USD).

Uwaga na nazwę: dwa różne Integrity

Kto czyta o NonStop w latach dwutysięcznych, natknie się na nazwę „HP Integrity NonStop” i może pomyśleć, że to potomek Integrity S2. Tak nie jest. **Tandem Integrity** (1989–1990) to UNIX na MIPS-ach z głosowaniem trzech procesorów. **HP Integrity** to rodzina serwerów HP na procesorach Itanium, od 2003 roku — ta sama, na której działał HP-UX i OpenVMS. „HP Integrity NonStop” znaczy po prostu: NonStop na serwerach HP Integrity, czyli na Itanium. Nazwa jest ta sama, filozofie odporności — różne.

Lata dziewięćdziesiąte: MIPS, Himalaya, NonStop Kernel i otwarcie

Cięcia na początku dekady

Rok 1990 był dla Tandemu rekordowy pod względem przychodu — 1,87 mld USD i 188,7 mln zysku — ale „Computer Business Review” z 13 IX 1990 roku pisał już o zagrożeniach: w Japonii z odpornym procesorem komunikacyjnym wchodził Fujitsu, a Tandem ciął plan inwestycji na 1991 rok z 300 mln do poniżej 150 mln USD i wstrzymywał zatrudnianie. W 1991 roku przychód wzrósł do 1,92 mld, ale zysk spadł do 59,1 mln USD. Przyszły zwolnienia, wstrzymanie podwyżek i bezpłatne dni wolne w pierwszych dwóch kwartałach 1992 roku. W 1991 roku Tandem przeszedł też na procesory MIPS (Cyclone/R, CLX/R) i kupił Applied Communications.

Himalaya: tysiące procesorów na papierze

18 VII 1993 roku Tandem ogłosił linię **NonStop Himalaya** na procesorach MIPS. Najmniejszy K100 miał dwa procesory w szafie i kosztował od 20 000 GBP; K1000 na R3000 miał dawać do 30 razy więcej. Największy K10000 na R4400 mógł według Tandemu rosnąć do 4000 procesorów, łączonych w domeny po 224 procesory przez sieć **TorusNet** — i dawać „more than 2,000 times the performance of the K100”, co należy czytać jako hasło reklamowe.

W styczniu 1995 roku przyszła druga fala: K20000 i K2000 na R4400 200 MHz, K200 na R4400 125 MHz oraz K2, czyli K100 z nowymi procesorami MIPS. K20000 był o 50% szybszy od K10000 i skalował się teoretycznie do ponad 4000 procesorów: węzeł miał 16 procesorów, domena — 224 (cztery moduły po 56), multidomena — do 4000 przez światłowody. Ceny startowe sięgały od 25 000 USD (K2) do 339 000 USD (K20000); dostawy od marca 1995 roku. „Computer Business Review” pisał, że Tandem *„relaunching itself with its Himalaya parallel servers”* — odradza się jako dostawca serwerów równoległych.

NonStop Kernel: Guardian jako mikrojądro

Wraz z Himalayą pojawiła się nowa nazwa systemu. W lipcu 1993 roku Tandem zapowiadał, że oprze **NonStop Kernel** na mikrojądrze firmy Chorus Systèmes, a Guardian i NonStop-UX będą na nim „osobowościami” — dwoma środowiskami na jednym jądrze; NonStop Kernel zgodny z XPG4

miał wyjść we wrześniu 1993 roku, zestaw deweloperski POSIX — w grudniu, DCE i Tuxedo — w połowie 1994 roku. W styczniu 1995 roku „Computer Business Review” pisze już, że wszystkie nowe Himalaye pracują pod **NonStop Kernel 2.0, wydanie D30.01**, które nazywa *„the microkernel implementation of its proprietary Guardian operating system”*, z nadzbiorem interfejsów POSIX.1 i POSIX.2; Tandem celował w znak zgodności XPG4, nie w pełną specyfikację Spec 1170. O Chorusie ta notatka już nie wspomina, a ja nie znalazłem potwierdzenia, że produkcyjny NonStop Kernel używał jego kodu.

Z tych dwóch tekstów wynika, jak rozumieć nazwę: **NonStop Kernel** (NSK) to nazwa Guardiana w wersjach serii D z połowy lat dziewięćdziesiątych, a nie inny system. Guardian nie zniknął — w 2026 roku HPE prowadzi kurs „C Programming in the Guardian Environment”, a ogłoszenia o pracę wymagają znajomości „Guardian & OSS”. Nazwa Guardian przetrwała jako nazwa środowiska obok uniksowego OSS.

OSS: UNIX nad jądrem NonStop

Open System Services (OSS) to warstwa usług i standardów UNIX-owych *„implemented on top of the NonStop operating system kernel”* — tak opisuje ją „Computer Business Review” z 19 XII 1995 roku, przy okazji wersji 2.0. Ta dodawała gniazda Berkeley, NFS i dowiązania symboliczne; zgodność z XPG4.2 (UNIX 95) i TxRPC zapowiadano na 1996 rok, a nad pełną zgodnością ze Spec 1170 trwała praca. Daty pierwszej wersji OSS nie ustaliłem. Do połowy 1996 roku miały się pojawić interfejsy CICS od Micro Focus, do przenoszenia aplikacji z maszyn wielkich IBM. W marcu 1994 roku Tandem wprowadził już pakiet oprogramowania równoległego: NonStop SQL/MP, NonStop Transaction Services/MP (TS/MP), NonStop Transaction Manager/MP (TM/MP) i NonStop ODBC Server, z dostawą TS/MP i TM/MP w czwartym kwartale 1994 roku. TS/MP i TM/MP uchodzą za następców Pathwaya i TMF; dokumentacją HPE tego nie potwierdziłem.

Rob Hoogstraten, pracownik Tandemu z lat 1981–1993, mówił w 1999 roku, że Tandem za późno zastąpił własnego Guardiana otwartymi standardami. Guardiana ostatecznie nie zastąpiono, tylko postawiono obok niego drugie środowisko. O standardzie pisze strona **POSIX**.

ServerNet i sojusz z Microsoftem

W tym samym numerze z grudnia 1995 roku pojawia się **ServerNet** — nowa sieć łącząca procesory i wejście-wyjście, o przepustowości 300 Mb/s i opóźnieniu 215 ns lokalnie albo 600 ns przez dwa routery. Razem z NEC Tandem rozwijał jednostkę ServerNet dla Windows NT. Około 70% obrotów dawały wtedy produkty transakcyjne. Od połowy czerwca 1997 roku Tandem dostarczał w dużych ilościach serwery serii **S** (S-series), zbudowane na ServerNecie.

7 V 1996 roku Microsoft i Tandem ogłosili sojusz. Oprogramowanie pośredniczące NonStop ServerWare miało zostać przeniesione na Windows NT Server, Tandem miał być „core clustering partner” Microsoftu i głównym współtwórcą klastrów o kryptonimie **„Wolfpack”** (pierwsza faza — początek 1997 roku), dostarczyć sterowniki ServerNet dla NT i wymienić się z Microsoftem licencjami. Steve Ballmer mówił: *„With more than 22 years of experience, Tandem is the widely*

regarded leader in business-critical computing.” Roel Pieper, nowy szef Tandemu, odpowiadał: *„Microsoft and Tandem are taking 'expensive' and 'proprietary' out of the enterprise customer equation.”* Dalsze losy Wolfpacka, czyli Microsoft Cluster Server, opisuje strona **Linia serwerowa Windows: od NT do Server 2003**.

Ten sam komunikat zawiera w części „o firmie” liczby, które potem żyły własnym życiem: rozwiązania Tandemu *„reportedly”* obsługiwały ponad 90% światowych transakcji papierami wartościowymi, 66% transakcji kartami kredytowymi i 80% transakcji bankomatowych.

Treybig odchodzi, Tantau zostaje

W grudniu 1995 roku „Computer Business Review” podał, że Jimmy Treybig po 22 latach ustępuje z funkcji szefa na stanowisko przewodniczącego, a nowy prezes zostanie powołany w ciągu miesiąca; został nim Roel Pieper. Kiedy dokładnie Treybig odszedł z firmy, źródła ujmują różnie[12]. Według „Euromoney” rozwinął Tandem do 2,3 mld USD przychodu i 8000 pracowników — komunikat Microsoftu z maja 1996 roku podaje przychód 2,2 mld[13] — po czym został partnerem funduszu Austin Ventures w Teksasie. W marcu 1999 roku założył Tantau Software.

Nazwa ma swoją historię. Siedziba Tandemu w Cupertino stała przy ulicy Tantau — „Computable” pisze o Tantau Avenue, autor zdjęcia poniżej o North Tantau Drive[14]. Treybig przez lata bezskutecznie zabiegał o przemianowanie jej na „Tandem Avenue”. Kiedy zakładał nową firmę — z jądrem w dawnym dziale badawczym Tandemu, wykupionym od Compaqa — dał jej nazwę ulicy i skomentował to tak: *„They got me this time with the name of the company.”* W 1999 roku mówił: *„We can detect failure, make sure you don't lose data and keep you running.”* Kampus Tandemu w Cupertino wyburzono później pod nowy kampus Apple.

Tabliczka z nazwą ulicy Tantau przy dawnej siedzibie Tandem Computers w Cupertino, naprzeciw bu

Tabliczka z nazwą ulicy Tantau przy dawnej siedzibie Tandem Computers w Cupertino, naprzeciw budowy nowego kampusu Apple — zdjęcie „Silicon Valley Ghost” z 31 X 2015 roku. Źródło: Flickr, CC BY-NC-SA 2.0, autor: Ian E. Abbott.

Compaq, HP i HPE: Itanium, x86 i maszyny wirtualne (1997–2022)

Compaq kupuje Tandem

23 VI 1997 roku Compaq ogłosił, że kupi Tandem. Raport 8-K, który Tandem złożył w amerykańskiej komisji giełdowej, mówi o *„definitive merger agreement in a stock-for-stock transaction”*: wymiana akcji, Tandem staje się spółką zależną Compaqa w stu procentach, rozliczenie metodą łączenia udziałów (pooling of interests). Parytet wynosił 0,21 akcji Compaqa za jedną akcję Tandemu (0,525 po splicie akcji Compaqa z 28 VII 1997 roku).

Ile to było warte? Źródła podają, że od 2,6 do ponad 4 mld USD — i wszystkie mają rację, bo liczą w różne dni i po różnych kursach[2]. Motley Fool, licząc po kursie Compaqa z dnia ogłoszenia (105 USD), wyszedł na około 2,6 mld; Nextgov podał 3 mld, Channelweb — 3,1 mld. Transakcję zamknięto w piątek 29 VIII 1997 roku, przy 72% głosów akcjonariuszy Tandemu za (wymagane było 51%); kurs Compaqa wzrósł przez dwa miesiące z 40 do 65 USD (po splicie), więc w dniu zamknięcia transakcja była warta ponad 4 mld USD. Formułka „za trzy miliardy” jest więc ceną z dnia ogłoszenia, zaokrągloną.

W dniu ogłoszenia kurs Tandemu wzrósł do 21,25 USD, prawie o połowę wobec poprzedniego tygodnia. Eckhard Pfeiffer, szef Compaqa, mówił: *„Our total addressable market has been doubled to approximately $650 billion.”* Tło finansowe: w roku obrotowym do września 1995 roku Tandem miał 100 mln USD zysku, rok później — 22 mln straty.

W 1998 roku Compaq kupił jeszcze DEC i przez cztery lata miał w jednym portfelu dwa systemy słynące z niezawodności: NonStop i VMS (strona **VMS i OpenVMS**). Nic nie wskazuje, żeby kupił Tandem po to, by NonStop zlikwidować: Tandem pozostał osobną jednostką, a jego sojusz z Microsoftem w klastrach Windows NT pasował do strategii Compaqa, opartej na procesorach Intela i Windows NT.

HP i Itanium (2002–2021)

3 V 2002 roku HP sfinalizowało przejęcie Compaqa i NonStop razem z OpenVMS przeszedł do firmy, z której w 1974 roku wyszli założyciele Tandemu. 31 V i 1 VI 2005 roku HP ogłosiło **HP Integrity NonStop NS16000**: Itanium 1,5 GHz zamiast procesorów MIPS, używanych od czasów Tandemu, i do 4080 procesorów w systemie. Tego samego dnia HP zapowiedziało ostatni procesor PA-RISC, PA-8900. Jako klientów The Register wymieniał wiele giełd świata i instytucji finansowych, które *„can't afford any server failures”*.

Datamation dodawał, że nowe maszyny mają opcjonalną podwójną i potrójną redundancję modułową (DMR i TMR) — wracało więc porównywanie wyników kilku procesorów — i cytował Randy'ego Meyera z HP: *„We can deliver seven nines of availability, which translates to less than 3 seconds of unplanned downtime a year”*, przy kosztach *„roughly half the cost of an IBM mainframe doing the same workload”*. Siedem dziewiątek to 99,99999% czasu, czyli około 3,15 sekundy przestoju w roku. Jest to liczba producenta, a nie pomiar; dla porównania raport Graya z 1985 roku liczył średni czas między awariami w latach, a nie przestój w sekundach. Strona **Mainframe i z/OS** opisuje, skąd te same „dziewiątki” biorą się po stronie IBM.

Itanium skończyło się bez dramatu: ostatnie zamówienia przyjmowano 30 I 2020 roku, ostatnie dostawy szły 29 VII 2021. Linia NonStop na Itanium — kolejne modele po NS16000 — zamknęła się

wraz z nim; dalej rozwijano już tylko linię x86.

x86 i InfiniBand (2013–2015)

5 XI 2013 roku Computerworld donosił, że HP przenosi NonStop z Itanium na x86. Wczesne wersje systemu i NonStop SQL działały już na Xeonach w laboratoriach HP — *„alpha, or pre-alpha stage”* — a ServerNet miał ustąpić InfiniBandowi. HP chwaliło się przy tym, że NonStop obsługuje 8 z 10 największych banków świata, wszystkich 10 największych producentów przemysłowych i ponad 122 mld USD transakcji paliwowych w USA.

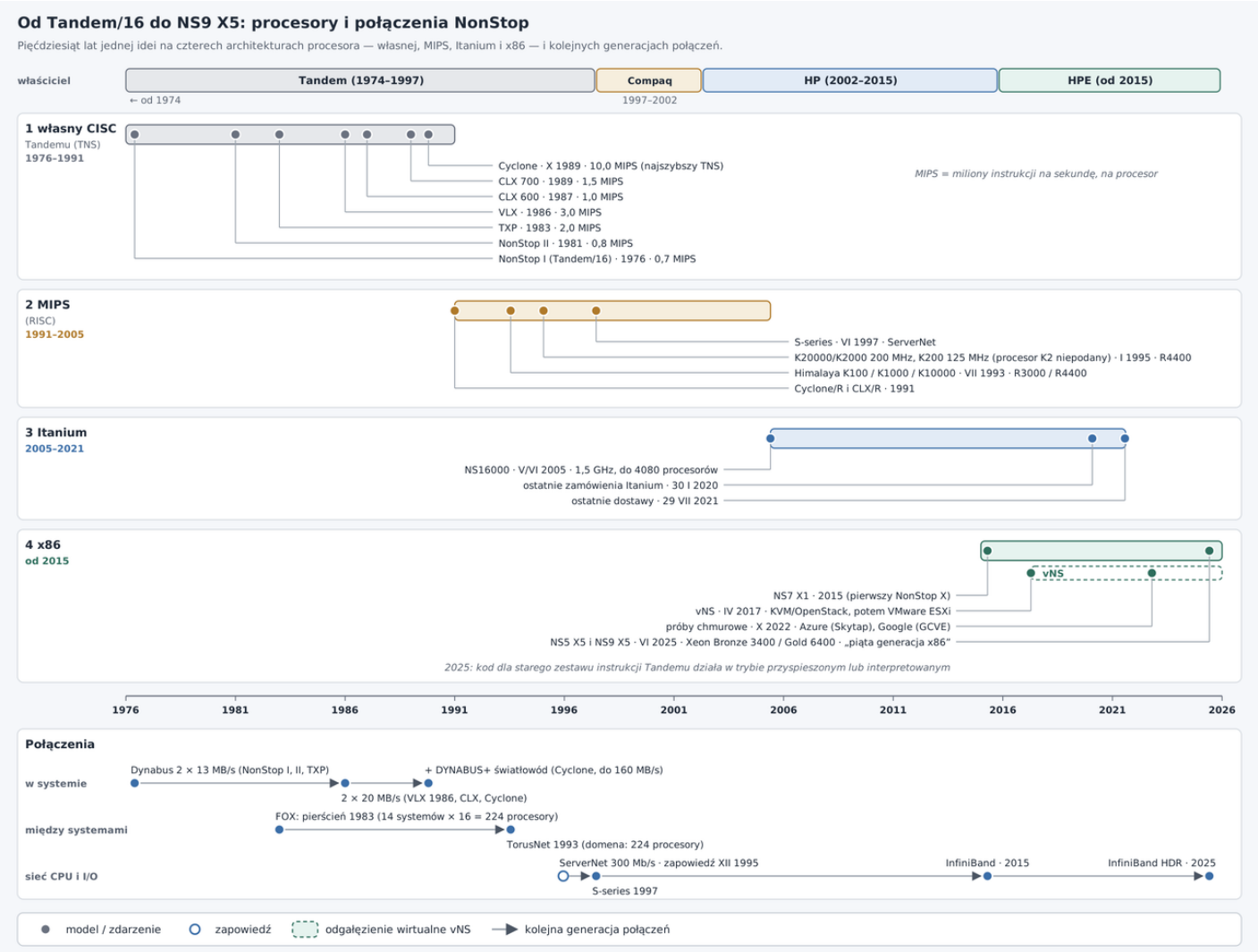
2 XII 2014 roku DatacenterDynamics opisał gotowy produkt: **Integrity NonStop X** na Xeonach, z InfiniBandem zamiast ServerNetu, z dostawami w pierwszym kwartale 2015 roku. Randy Meyer mówił: *„NonStop runs on completely off-the-shelf hardware; there's no proprietary hardware in there.”* Pierwszy model, NS7 X1, przyszedł w 2015 roku, dwa lata po początku prac. Po czterdziestu latach własnych procesorów, MIPS-ów i Itanium NonStop działał na tym samym sprzęcie co zwykłe serwery — a jego odporność została tam, gdzie od początku była najważniejsza: w oprogramowaniu.

1 XI 2015 roku HP podzieliło się na dwie spółki. NonStop trafił do Hewlett Packard Enterprise; w raporcie rocznym HPE za rok 2021 figuruje w portfolio „Data Solutions” (wcześniej „Mission Critical Solutions”), obok Superdome Flex, jako platforma dla płatności i przetwarzania transakcji.

Wirtualny NonStop i chmura (2017–2022)

11 IV 2017 roku japoński oddział HPE zaczął sprzedawać **HPE Virtualized NonStop** (vNS): system NonStop jako oprogramowanie — system operacyjny, oprogramowanie pośredniczące i baza danych — w maszynach wirtualnych, a nie jako urządzenie z własnym sprzętem. Pary procesów zostały: główny i zapasowy działają na różnych wirtualnych procesorach. Wspierano KVM z OpenStackiem, w planach były VMware vSphere i Hyper-V; w pakiecie — NonStop SQL/MX i NonStop TS/MP. Cena zaczynała się od 6 356 400 JPY netto z trzyletnią licencją.

Pięć lat później zespół HPE (Marcelo de Azevedo, Jim Hamrick, Ken James, Lars Plum) opisał w gazecie użytkowników „The Connection” drogę do chmury. System NonStop działał jako gość na VMware ESXi i na Linuksie z KVM. W październiku 2022 roku przeprowadzono dwa próbne wdrożenia: w Microsoft Azure przez Skytap (dwa serwery, wydanie L22.09, dwa wirtualne procesory NonStop, po dwa moduły CLIM do pamięci masowej i do sieci) oraz w Google Cloud przez Google Cloud VMware Engine (cztery serwery, L22.09). Oba przeszły testy funkcjonalne i testy odporności działu jakości NonStop i zostały pokazane na konferencji NonStop Technical Boot Camp 2022. Otwarte pozostały pytania o bezpieczeństwo, model wsparcia, okna serwisowe i rozliczenia. KVM i jego linuksowe tło opisuje strona **Linux i GNU**.



Rysunek 5. *Pięćdziesiąt lat NonStop jako cztery pasma procesorów i jeden pas połączeń: własne układy Tandemu, MIPS, Itanium i x86, a pod nimi Dynabus, ServerNet i InfiniBand. Warto zauważyć, że rdzeń modelu — pary procesów — zachowano nawet w wersji wirtualnej z 2017 roku.*

Kiedy Tandem jednak stawał: Toronto 1989, Londyn 1997

Giełda w Toronto, 16 VIII 1989

16 VIII 1989 roku o 9:41 handel na giełdzie w Toronto prawie stanął i nie ruszył przez około trzy godziny. Przyczyną była awaria **trzech napędów dyskowych** w systemie Tandem VLX. Sam system działał — *„The whole system, minus the data on the one drive, was up and running"*, mówił „Globe and Mail" Peter Richards z Tandemu — ale bez danych rynkowych handel nie mógł trwać, a zlecenia warte dziesiątki milionów dolarów przeniosły się do Montrealu. Prezes Tandem Canada

nazwał to „once in a lifetime event”, a John Kane, wiceprezes Tandemu do spraw marketingu: *„I've never heard of three failures at one one time.”* Prezes giełdy Pearce Bunting skomentował: *„The greater your dependence on computers, the greater the risks.”* Nagłówek „Globe and Mail” brzmiał „Fail-safe Tandem system fails”. Relację zebrał Peter Roosen-Runge w RISKS Digest 9.15.

To jest dokładnie przypadek, przed którym ostrzegał model awarii Bartletta: system przeżywa *pojedynczy* błąd. Lustro chroni przed śmiercią jednego dysku; trzy dyski naraz to scenariusz spoza modelu. Nagłówek gazety myli obietnicę konstruktorów z legendą.

London Stock Exchange, 5 XI 1997

W środę 5 XI 1997 roku w systemie Tandem obsługującym LMIL (London Market Information Link) zepsuł się procesor. Przejęcie pracy przez zapas nie zadziałało, LMIL przeszedł w tryb odtwarzania, a sesja ruszyła *„almost one hour late”*. Giełda oświadczyła, że system *„failed to provide the fault tolerance that is the selling point of the Tandem platforms”*. Tym razem zawiodło dokładnie to, co miało działać: przejęcie pracy po awarii pojedynczego elementu. Szczegółów przyczyny moje źródło nie podaje.

NYSE, 26 X 1998: awaria obok Tandemu

Trzeci przypadek pokazuje odwrotny błąd. 26 X 1998 roku nowojorska giełda wstrzymała handel na godzinę (od 13:16 do 14:15) z powodu „systems communication problem”. Rdzeń systemu handlu NYSE działał na serwerach Himalaya dywizji Tandem w Compaqu, ale Tandem oświadczył, że jego komputery nie były zaangażowane; Nasdaq, także na Tandemach, pracował bez zakłóceń. Awaria „na giełdzie stojącej na Tandemie” nie jest więc automatycznie awarią Tandemu — co warto pamiętać, czytając dawne relacje prasowe w obie strony.

NonStop w 2026 roku

NS5 X5 i NS9 X5

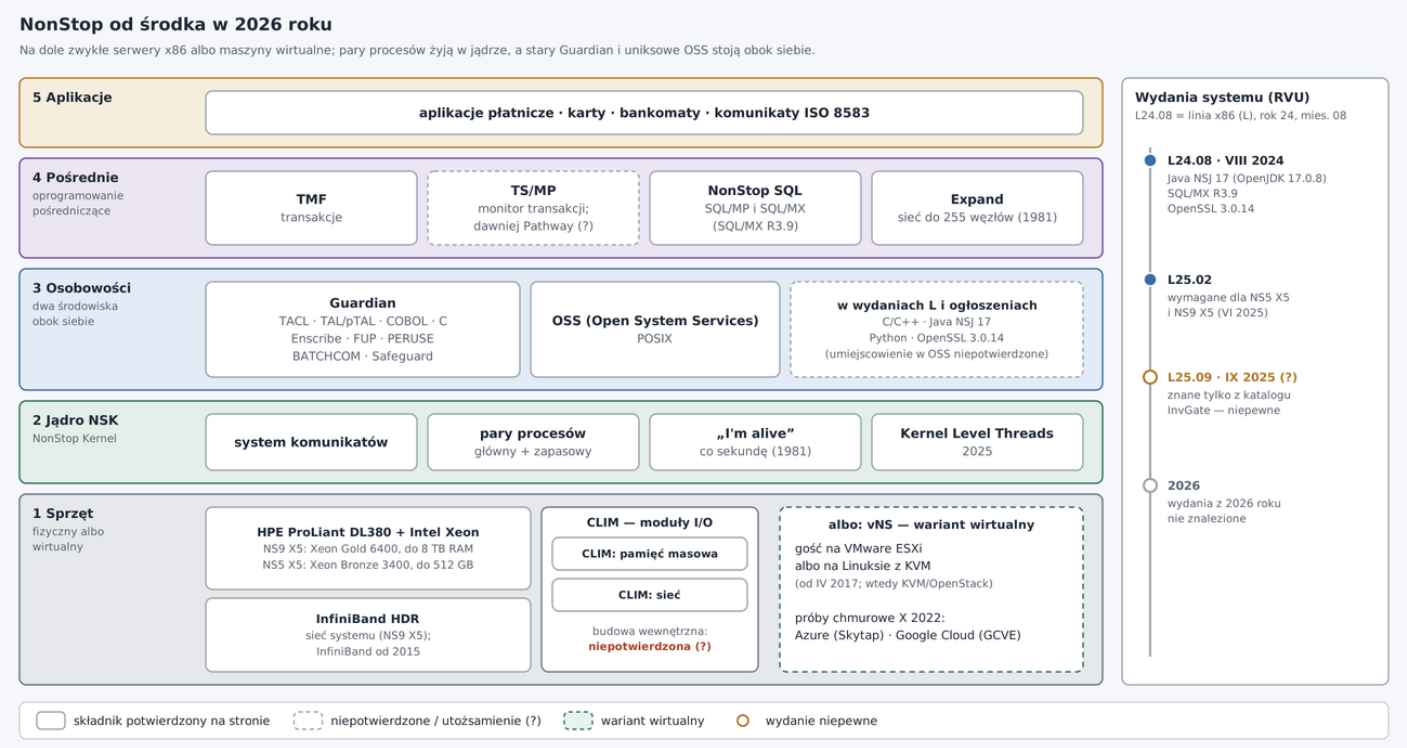
2 VI 2025 roku HPE przedstawiło **HPE NonStop Compute NS5 X5** (klasa podstawowa) i **NS9 X5** (klasa wysoka) — według Marka Pollansa z HPE piątą generację NonStop na x86 bez wirtualizacji, z programu o kryptonimie „Starship”. NS9 X5 to serwery HPE ProLiant DL380 z Xeonami Gold 6400, InfiniBandem HDR i do 8 TB pamięci; NS5 X5 ma Xeony Bronze 3400 i do 512 GB. Wymagane jest wydanie systemu **L25.02**. HPE podaje, że NS9 X5 jest o około 15% szybszy od NS8 X4 (benchmark producenta) i że kod skompilowany starymi kompilatorami CISC — czyli dla zestawu instrukcji Tandemu — działa na nim w trybie przyspieszonym albo interpretowanym. Maszyny są dostępne także jako usługa HPE GreenLake i mają uwierzytelnianie wieloskładnikowe.

HPE w materiałach z 2025 roku pisze, że NonStop używa 6 z 10 największych banków detalicznych świata, a pewien producent samochodów *„has been using HPE's fault-tolerant systems for more than 35 years without any unplanned downtime”*. W 2013 roku HP mówiło o 8 z 10 największych banków świata; obie liczby są firmowe i mogą liczyć różne rzeczy[15]. IDC klasyfikuje NonStop w najwyższej klasie dostępności, AL4.

Wydania L i nowości

Wydania systemu nazywają się RVU (*„a scheduled release vehicle”*), a nazwa się czyta: **L24.08** = L (linia x86), 24 (rok 2024), 08 (sierpień). L24.08 przyniosło m.in. Javę NSJ 17 (OpenJDK 17.0.8), SQL/MX R3.9 i OpenSSL 3.0.14. Według relacji z konferencji użytkowników z września 2025 roku HPE wydało już **Kernel Level Threads**, żeby przyjmować aplikacje z systemów ze wspólną pamięcią — po pięćdziesięciu latach architektury bez współdzielenia NonStop dostał wątki jądra — oraz szyfrowanie danych w spoczynku pod PCI DSS 4.0. Najnowsze wydanie, jakie znalazłem, to L25.09 z września 2025 roku, i to tylko w katalogu InvGate; wydania z 2026 roku nie znalazłem.

Jednostką NonStop w HPE kieruje Casey Taylor, wiceprezes i dyrektor generalny. Hasło z konferencji użytkowników w 2025 roku, przytoczone przez „The Connection”, brzmiało: *„High availability is NOT good enough! Our customers are looking for continuous availability.”* 6 V 2026 roku teksaska grupa użytkowników N2TUG świętowała w Hurst **pięćdziesięciolecie pierwszej dostawy NonStop**, z sesjami o planach HPE i o Pythonie na NonStop.



Rysunek 6. *NonStop w 2026 roku od sprzętu do aplikacji: zwykłe serwery x86 albo maszyny wirtualne, na nich jądro z parami procesów, nad nim stary Guardian i uniksowe OSS, a dopiero wyżej transakcje i bazy danych. Nazwy z 1979 roku — Guardian, Enscribe, Expand — wciąż stoją na tym rysunku.*

Praktyka: jak dotknąć NonStop w 2026 roku

Tu wiadomość jest krótka i rozczarowująca: publicznego programu hobbystycznego ani darmowego emulatora NonStop nie znalazłem — w przeciwieństwie do OpenVMS, którego hobbystyczne licencje opisuje strona **VMS i OpenVMS**. „Nie znalazłem” nie znaczy „nie istnieje”, ale nie mam niczego, co mógłbym polecić. Zostają trzy drogi.

- **Dokumentacja z epoki.** Na bitsavers (lustro mirrorservice.org) leżą m.in. GUARDIAN Operating System Programming Manual (1982), EXPAND Users Manual (1983), podręczniki TAL i TMF oraz System Description Manual (1985) i NonStop SQL Benchmark Workbook (1987). To najlepsza lektura o tym, jak system wyglądał od środka.
- **Szkolenia HPE.** Ścieżka „HPE NonStop Compute Programming” obejmuje m.in. TACL Programming (5 dni), NonStop System Fundamentals (4 dni), Pathway Application Programming I w COBOL-u (5 dni), C Programming in the Guardian Environment (3 dni), TAL/pTAL Programming (4 dni), Integrity NonStop OS Architecture (5 dni) i laboratoria „Practice Labs”, w formie zajęć wirtualnych z prowadzącym.
- **Słownik z ogłoszeń o pracę.** Ogłoszenia z lat 2020. podają zestaw narzędzi administratora: TACL (powłoka i język poleceń), FUP (File Utility Program), PERUSE (przeglądarka kolejki wydruku), BATCHCOM, Safeguard (bezpieczeństwo), Prognosis (monitoring), SQL/MP, SQL/MX i Enscribe. Poleceń tych narzędzi nie podaję, bo nie mam ich ze źródła.

Mity i sprostowania

Człon opowieści	Werdykt	Dlaczego
„Tandem nigdy się nie psuje”	fałsz	Cel: praca przy pojedynczym błędzie (Bartlett 1981). MTBF systemu 7,8 roku zgłoszone, 3,8 po korekcie (Gray 1985). Toronto 1989: trzy dyski, trzy godziny; Londyn 1997: nieudane przejęcie pracy, godzina opóźnienia.
„Pierwszy komputer odporny na awarie”	fałsz	SAGE (1958) i No. 1 ESS (1964) były wcześniej. Tandem: pierwszy udany komercyjnie system transakcyjny ogólnego przeznaczenia bez współdzielenia, 2–16 procesorów, bez dopłaty za nadmiarowość.

Człon opowieści	Werdykt	Dlaczego
„Tandem to dwa komputery w lockstepie, jak Stratus”	fałsz z niuansem	Procesory NonStop wykonują różną pracę, a zapasowe procesy dostają checkpointy. Lockstep Tandem stosował wewnątrz modułów (CLX, kontrolery z dwoma 68000) jako technikę fail-fast, a głosowanie TMR — w UNIX-owej Integrity S2.
„Odporność Tandemu to zasługa sprzętu”	połowicznie	Sprzęt to 18% przestojów, procesor — 1%. Klucz to oprogramowanie: pary procesów, transakcje, fail-fast; 131 z 132 błędów spoolera znikało przy ponowieniu.
„Największym wrogiem dostępności jest sprzęt”	fałsz	Administracja 42% (konserwacja 25%), oprogramowanie 25%, sprzęt 18%, środowisko 14% (Gray 1985).
„NonStop obsługuje 80% bankomatów i 90% giełd świata”	marketing	Formułka z komunikatu Microsoft–Tandem z 7 V 1996, ze słowem „reportedly”; niezależnego badania nie znalazłem. Bankowość dawała 20–25% sprzedaży (1990).
„Compaq zapłacił 3 mld dolarów”	zależy od dnia	2,6–3,1 mld przy ogłoszeniu (23 VI 1997), ponad 4 mld przy zamknięciu (29 VIII 1997).
„Compaq kupił Tandem, żeby zlikwidować NonStop”	brak podstaw	Tandem został osobną jednostką; Pfeiffer mówił o podwojeniu rynku; NonStop przeszedł potem dwie zmiany procesora.
„Guardian to stara nazwa, potem był NSK”	uproszczenie	NSK to Guardian w wersjach z połowy lat dziewięćdziesiątych; nazwa Guardian żyje w 2026 roku jako środowisko obok OSS.
„Dynabus to nazwa z artykułów naukowych”	częściowo	Jest u Katzmana i w znakach towarowych; Bartlett pisze tylko „interprocessor bus”.
„Pierwszym klastrem był VAXcluster z 1983 roku”	doprecyzować	VAXcluster był pierwszym udanym klastrem ze współdzielonymi dyskami; Tandem od 1976 roku sprzedawał architekturę bez współdzielenia, którą Gray opisywał jako klaster.
„NonStop umarł z Itanium”	fałsz	Od 2015 roku x86, w 2025 piąta generacja (NS5/NS9 X5), w 2026 jubileusz pięćdziesięciolecia i Python na NonStop.
„Siedem dziewiątek”	marketing	99,99999% (około 3 s przestoju rocznie) to deklaracja HP z 2005 roku, nie pomiar.

Epilog

Tom Perkins mówił, że największym ryzykiem Tandemu było oprogramowanie, które ma działać na wielu procesorach naraz. Jedenaście lat później Jim Gray policzył, że w systemach, które to ryzyko pokonały, największym ryzykiem stali się ludzie i oprogramowanie, które na nich działa. Ta para zdań streszcza całą historię lepiej niż jakakolwiek tabela modeli.

NonStop przeżył swojego twórcę, dwóch kolejnych właścicieli i cztery architektury procesorów. Przeżył nawet własną legendę, która obiecywała więcej, niż konstruktorzy kiedykolwiek przyrzekli. Z całej tej historii administrator powinien zapamiętać przede wszystkim liczby z 1985 roku: co trzeci przestój ze świeżej zmiany, co czwarty z konserwacji, a procesor — jeden na sto.

Ciekawostki zebrane

- Pierwsze uruchomienie oprogramowania na prawdziwym sprzęcie uczczono skrzynką piwa — tak powstał cotygodniowy „Tandem Beer Bust”.
- Koszulki głosiły „Tandem users do it with mirrors” — żart z lustrzanych dysków.
- Drugi NonStop pracował w magazynie Radio Shack w Fort Worth, a jeden z pierwszych — pod izbą przyjęć szpitala Parkland w Dallas.
- „Computerwoche” nazwała w 1977 roku 16-bitowy NonStop „32-bitowym systemem dwukomputerowym”.
- Z 132 błędów spoolera Tandemu tylko jeden był Bohrbugiem.
- Administratorzy Tandemów popełniali krytyczny błąd średnio raz na 31 lat pracy systemu — i i tak byli największą przyczyną przestojów.
- W 1993 roku Tandem planował oprzeć NonStop Kernel na mikrojądrze Chorus, z Guardianem i UNIX-em jako „osobowościami”.
- Treybig, któremu nie udało się przemianować Tantau Avenue na Tandem Avenue, nazwał swoją następną firmę Tantau Software.
- Jim Gray zaginął 28 I 2007 roku na jachcie „Tenacious” w okolicach Wysp Farallońskich; szukano go m.in. przez wspólne przeglądanie zdjęć satelitarnych, a sąd uznał go za zmarłego z datą 28 I 2012.
- W Krakowie w latach 2020. rekrutowano na stanowisko „Tandem System Engineer” — blisko trzydzieści lat po zniknięciu marki.

Oś czasu

Data	Wydarzenie
XI 1974	założenie Tandem Computers w Cupertino; Kleiner Perkins daje 50 000 USD
XII 1974	początek prac nad strukturą systemu
8 XII 1975	„Business Week”: „A Computer that Won't Shut Down”
V 1976	pierwsza dostawa NonStop (Tandem/16)
1977	wejście na giełdę; Tandem GmbH we Frankfurcie
I 1979	Datapro: ponad 100 klientów, ponad 250 procesorów
1980	Pathway; 29 VIII — Encompass i TMF w RFN; przychodzi Jim Gray
1981	NonStop II; 1210 systemów u 310 klientów; artykuł „A NonStop Kernel”
1982	dochodzenie SEC; kłopoty w RFN
1983	NonStop TXP i pierścień FOX
1984	start projektu NonStop SQL; zyski −80%
VI/XI 1985	Gray, „Why Do Computers Stop…” (TR 85.7)
1986	VLX; 15 giełd i 30 domów maklerskich
1987	CLX 600; NonStop SQL; przychód 1,035 mld USD
16 VIII 1989	awaria na giełdzie w Toronto
X 1989	NonStop Cyclone
8 I 1990	Integrity S2 i NonStop-UX w notatce „Computer Business Review” („available immediately”)
1990	Tandem TR 90.5; Gray odchodzi do DEC
1991	Cyclone/R i CLX/R (MIPS); zakup Applied Communications; zwolnienia
18 VII 1993	NonStop Himalaya K100/K1000/K10000
16 III 1994	NonStop SQL/MP, TS/MP, TM/MP
I 1995	K20000 i NonStop Kernel 2.0 (D30.01)
XII 1995	OSS 2.0, ServerNet; Treybig ustępuje, szefem zostaje Roel Pieper
7 V 1996	sojusz z Microsoftem (Wolfpack)
23 VI 1997	Compaq ogłasza przejęcie; zamknięcie 29 VIII 1997
5 XI 1997	opóźnione otwarcie giełdy w Londynie
3 V 2002	HP przejmuje Compaqa
VI 2005	NonStop NS16000 na Itanium

Data	Wydarzenie
28 I 2007	zaginięcie Jima Graya
5 XI 2013	HP ogłasza port na x86
2015	NonStop X (NS7 X1), InfiniBand; 1 XI — powstaje HPE
11 IV 2017	HPE Virtualized NonStop
X 2022	próby vNS w Azure i Google Cloud
2 VI 2025	NS5 X5 i NS9 X5, L25.02
6 V 2026	N2TUG świętuje 50 lat pierwszej dostawy

Wątek polski

Ślady NonStop w Polsce, które udało się udokumentować, są współczesne.

Ogłoszenia o pracę. W serwisie justjoin.it są wygasłe, niedatowane ogłoszenia, z których wynika, że w Polsce działają zespoły utrzymujące systemy NonStop dla klientów zagranicznych. Jit Team szukał w Warszawie, Gdańsku i Łodzi „HPNS Expert IT Developer” do pracy dla nordyckiej grupy finansowej przy kartach, bankomatach i komunikatach ISO 8583, ze stosem COBOL, TACL, PATHWAY, ENSCRIBE, SQL/MP, FUP, PERUSE i BATCHCOM. RITS Professional Services szukał w Krakowie (albo w Brukseli lub Londynie) „Tandem System Engineer” z TACL, SQL/MP, SQL/MX, „Network Guardian & OSS”, IBM MQ i Pythonem, z dyżurami od 18:00 do 8:00. Atos szukał w Bydgoszczy, Warszawie i Krakowie „HPE NonStop Senior System Engineer” ze znajomością Safeguard, NonStop SQL, Enscribe i Prognosis oraz niemieckiego na poziomie B2.

Prasa. Polski „Computerworld” w artykule „W pogoni za dziewiątkami” (data nieustalona) podaje linię HP NonStop, „wcześniej Himalaya”, jako przykład systemów wyjątkowo drogich, przeznaczonych dla najbogatszych organizacji.

Źródła i dalsze lektury

Przypisy

[1] 1,5 mln USD od innych funduszy venture capital w 1975 roku: International Directory of Company Histories; Kleiner & Perkins jako „the only venture investors”: wywiad z Tomem Perkinsem, „Red Herring”, XII 1993.

[2] Około 2,6 mld USD przy kursie Compaqa 105 USD: Motley Fool, 23 VI 1997; 3 mld USD: Nextgov/FCW, 29 VI 1997; 3,1 mld USD: Channelweb, 23 VI 1997; ponad 4 mld USD w dniu zamknięcia: Tech Monitor (CBR), 2 IX 1997.

[3] Koniec 1974 roku: „Beautiful Architecture”, rozdz. 8, „Folklore”; prace nad strukturą systemu od grudnia 1974 roku: Bartlett, „A NonStop Kernel” (1981).

[4] 123 instrukcje i 20 dziesiętnych: Katzman, „The Tandem 16” (1977); 173 (NonStop I), 285 (NonStop II) i 306 (CLX, Cyclone): Tandem TR 90.5, 1990; około 235 podstawowych i około 290 z opcjami (NonStop II): System Description Manual (III 1985).

[5] Do 512 KB (w tym samym tekście także 256K słów): Katzman, „The Tandem 16” (1977); do 2 MB na procesor: Bartlett, „A NonStop Kernel” (1981) oraz Tandem TR 90.5, 1990.

[6] 13 MB/s: Datapro, I 1979 i Tandem TR 90.5, 1990; 13,5 MB/s: Bartlett, „A NonStop Kernel” (1981); 13,33 MB/s: System Description Manual (III 1985).

[7] 15 słów danych i słowo kontrolne LRC: Katzman, „The Tandem 16” (1977); 16 słów, z czego 13 słów danych: Bartlett, „A NonStop Kernel” (1981).

[8] Sprawdzenie co 2 sekundy: Bartlett, „A NonStop Kernel” (1981); milczenie przez dwa kolejne okresy po około sekundzie: System Description Manual (III 1985).

[9] 1980: ACM, biogram laureata Nagrody Turinga i NAE, Memorial Tributes t. 18; „joined in 1981, right after Gray”: 1995 SQL Reunion.

[10] Mniej więcej co dwa tygodnie, w innym miejscu tego samego tekstu około tygodnia: Gray, TR 85.7 (1985); co dwa tygodnie na około godzinę: Tandem TR 90.5, 1990.

[11] 16,7 MIPS albo 11–12 MIPS na układ — obie wartości w tej samej notatce: Computer Business Review, 8 I 1990.

[12] Ustąpienie z funkcji szefa na stanowisko przewodniczącego w grudniu 1995 roku: Computer Business Review, 19 XII 1995; przejście na emeryturę w 1996 roku: Euromoney, 1 X 1999; „Computable” (27 V 1999) podaje sprzedaż Tandemu Compaqowi w 1996 roku za 2,3 mld USD, co nie zgadza się z datą i wartością transakcji z 1997 roku.

[13] 2,2 mld USD: komunikat Microsoft–Tandem, 7 V 1996; 2,3 mld USD: Euromoney, 1999.

[14] Tantau Avenue: Computable, 27 V 1999; North Tantau Drive: Ian E. Abbott, „Silicon Valley Ghost”, Flickr, 2015.

[15] 8 z 10 największych banków świata: Computerworld, 5 XI 2013 (za HP); 6 z 10 największych banków detalicznych: ChannelLife, 18 VI 2025 (za HPE).

Architektura i oprogramowanie

- J. Bartlett, „A NonStop Kernel”, ACM SOSP 1981.
- J. A. Katzman, „The Tandem 16: A Fault-Tolerant Computing System” (1977, przedruk CHM); katalog CHM.
- Datapro M11-822-10, „Tandem Non-Stop”, I 1979.
- Bitsavers: katalog dokumentacji Tandem; System Description Manual (1985); GUARDIAN Programming Manual (1982); Introduction to TMF (1980); TAL Reference Manual (1985).
- TANDEM 16 — Pathway reference manual (1980), CHM; raporty techniczne 1987, CHM.
- Computerwoche, 29 VIII 1980 (Encompass); A. J. Borr, VLDB 1981.
- „Beautiful Architecture”, rozdz. 8, „Folklore”.
- Tandem TR 90.5, 1990: J. Bartlett i in., „Fault Tolerance in Tandem Computer Systems”.

Gray i NonStop SQL

- J. Gray, „Why Do Computers Stop and What Can Be Done About It?”, Tandem TR 85.7 (1985); druga kopia; W. Vogels, 2017.
- ACM, biogram Jima Graya; NAE, Memorial Tributes t. 18.
- 1995 SQL Reunion, rozdział o Tandemie; dbdb.io, NonStop SQL.

Firma, ludzie, konkurencja

- International Directory of Company Histories, Tandem Computers; tamże, Stratus Computer.
- Tom Perkins, wywiad z „Red Herring” (1993); Knowledge@Wharton, 2012.
- Euromoney, 1999; Computable, 1999; ITUG Connection, 2018.
- Computerwoche: 17 VI 1977, 5 III 1982, 1 X 1982.

- Computer Business Review (Tech Monitor): Integrity S2, 1990; IX 1990; Himalaya i Chorus, 1993; III 1994; I 1995; OSS i ServerNet, 1995; Atalla, 1988; EftPos, 1987.
- Microsoft i Tandem, 7 V 1996.
- CHM, SAGE; No. 1 ESS Maintenance Plan (1964); P. C. Richards, wspomnienie (IEEE).

Awarie

- RISKS Digest 9.15 (Toronto 1989); WatersTechnology, 10 XI 1997 (Londyn); CBR o NYSE, 1998.

Compaq, HP, HPE

- Tandem, 8-K z 23 VII 1997; HPE, 10-K za 2021.
- The Register, 2005; Datamation, 2005; Computerworld, 2013; DatacenterDynamics, 2014.
- @IT, 2017 (vNS); The Connection, 2023 (chmura).
- The Connection: VI 2025 (NS5/NS9 X5), IX 2024, IX 2025, VII 2026 (N2TUG); ChannelLife, 2025; InvGate, katalog wydań NonStop OS.
- HPE Education, ścieżka NonStop Compute Programming.

Polskie

- justjoin.it: Jit Team, RITS Professional Services, Atos.
- Computerworld, „W pogoni za dziewiątkami”.

Ilustracje

Diagramy i animacje są moje. Zdjęcia pochodzą ze zbiorów cyfrowych muzeów, kolekcji i serwisu Flickr, które udostępniają je jako domenę publiczną albo na licencjach Creative Commons; część jest na licencjach niekomercyjnych (NC) lub bez utworów zależnych (ND) — ta wiki jest prywatna i niekomercyjna, obrazy pokazujemy bez zmian. Obrazy są wyświetlane bezpośrednio z serwerów instytucji i autorów; licencja i autor stoją w każdym podpisie. Materiałów objętych zastrzeżeniem praw nie osadzamy — odsyłamy do nich w źródłach.

Nota metodyczna: czego nie wiemy

- **Pierwszy klient** NonStop i dzienna data dostawy z maja 1976 roku — obiegowa wersja o Citibanku nie ma u mnie źródła z epoki.
- **Dane o przestojach z lat 1985–1990** (Gray, „A Census…”, TR 90.1) i **raport TR 87.4** o NonStop SQL — nieodczytane; archiwum raportów Tandemu w HP blokuje pobieranie. TR 90.5 czytałem z nieoficjalnej kopii.
- **Liczby o NonStop SQL** z dbdb.io (zespół, wiersze kodu) — niezweryfikowane.
- **Chorus w NonStop Kernel** — zapowiedź z 1993 roku bez potwierdzenia wdrożenia.
- **Daty premier** Expandu (przed 1979) i pierwszej wersji OSS — nieustalone.
- **Utożsamienie TS/MP z Pathwayem i TM/MP z TMF** oraz budowa modułów CLIM — bez potwierdzenia w dokumentacji HPE.
- **Wydania z 2026 roku**, ceny i liczba klientów HPE NonStop — nie znalazłem; L25.09 znam tylko z katalogu InvGate.
- **Emulator ani program hobbystyczny** — nie znalazłem żadnego; to ustalenie negatywne.
- **Folklor** (Beer Bust, Hanower, Texas Instruments jako źródło pomysłu) — relacje z drugiej ręki; autora rozdziału „Beautiful Architecture” nie ustaliłem.
- **Typy źródeł**: artykuły techniczne pracowników Tandemu (Katzman, Bartlett, Gray, TR 90.5), raport Datapro, prasa z epoki (Computerwoche, CBR, Business Week w bibliografii historii firmy), komunikaty i raporty SEC, gazeta użytkowników „The Connection”, materiały HPE. Liczby producenta zaznaczam w tekście.

Revision #6
Created 2026-10-26 12:54:02 UTC by Tomasz Konieczny
Updated 2026-11-01 17:50:29 UTC by Tomasz Konieczny