



RAČUNALNIŠKA ARHITEKTURA

2 Razvoj strojev za računanje

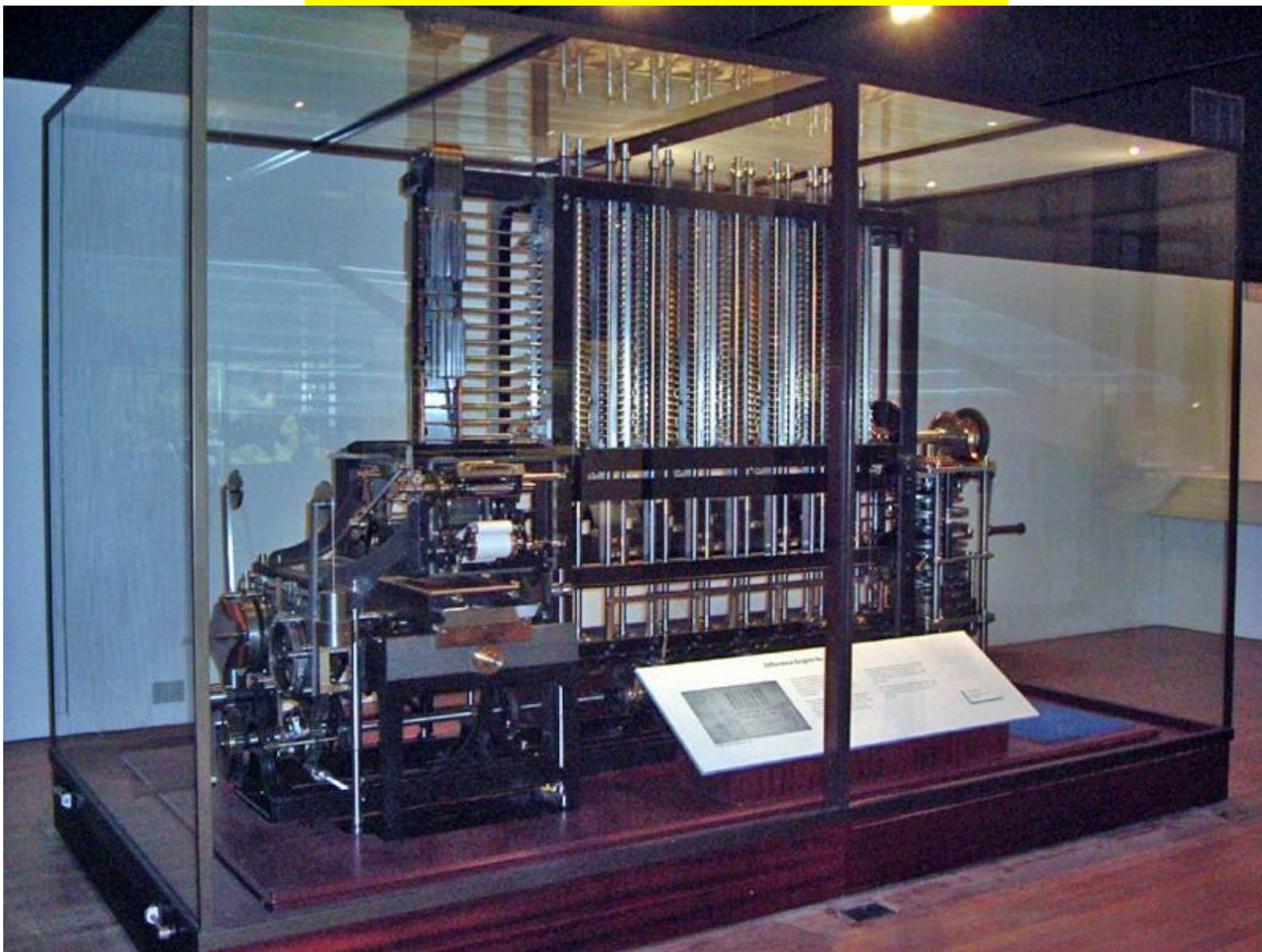
Razvoj strojev in drugih pripomočkov za računanje lahko kronološko razvrstimo v skupine:

- | | |
|---|--------------------------|
| I. Obdobje mehanike | od približno leta 1600 → |
| □ Babbage: Analitični stroj | |
| II. Elektromehanski računalniki | od leta 1939 → |
| □ Zuse Z3, Harvard Mark | |
| III. Prvi elektronski računalniki | 1945 |
| □ ENIAC | |
| IV. Elektronski računalniki s shranjenim programom (1945 →) | |
| □ EDVAC, IAS | |
| V. Skokovit razvoj računalnikov | po letu 1950 |

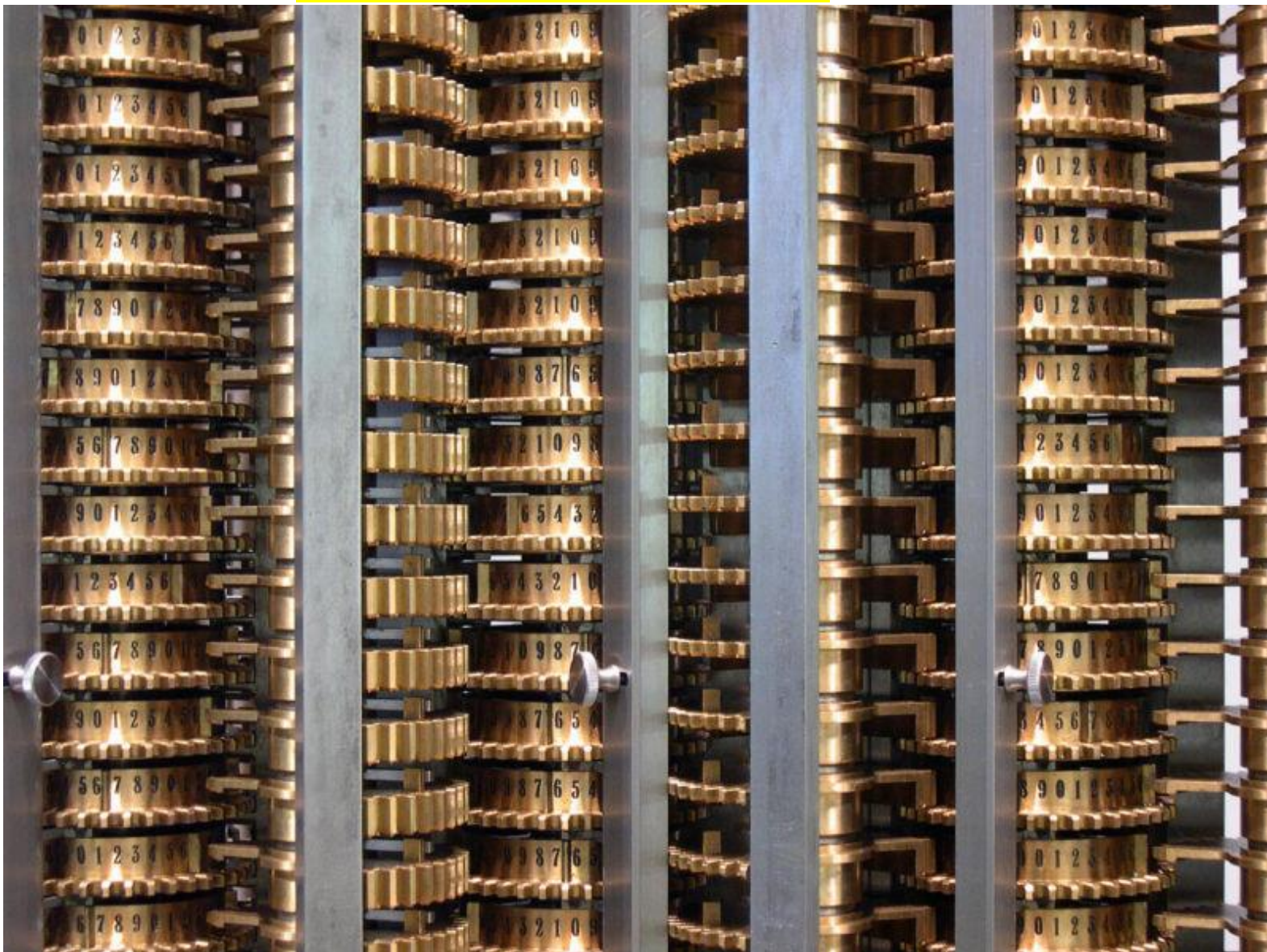
I. Obdobje mehanike

- Prvi kalkulatorji v 17. stoletju – mehanski, na ročni pogon
- Charles Babbage (1792 – 1871)
 - Diferenčni stroj (1823 – 1833)
 - **Analitični stroj (1834 – 1836)**
 - „Prvi pravi predhodnik današnjih računalnikov“ ([Kodek])
 - Združuje dve pomembni lastnosti:
 - Delovanje vodi **program**
 - Namenjen za **reševanje poljubnih problemov**
 - Nikoli dokončan.

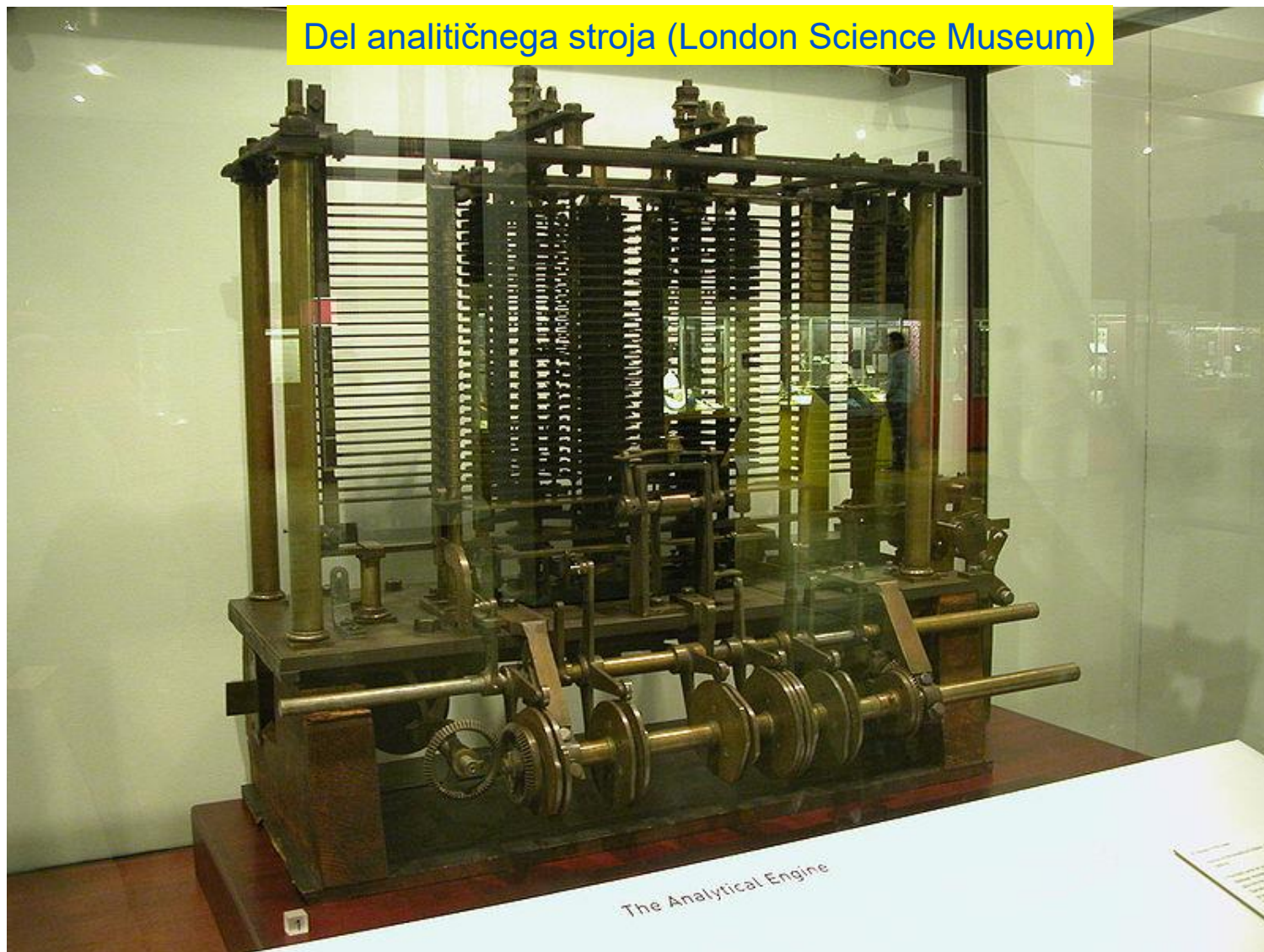
Diferenčni stroj 2 (London Science Museum)



Diferenčni stroj 2 bližnji posnetek

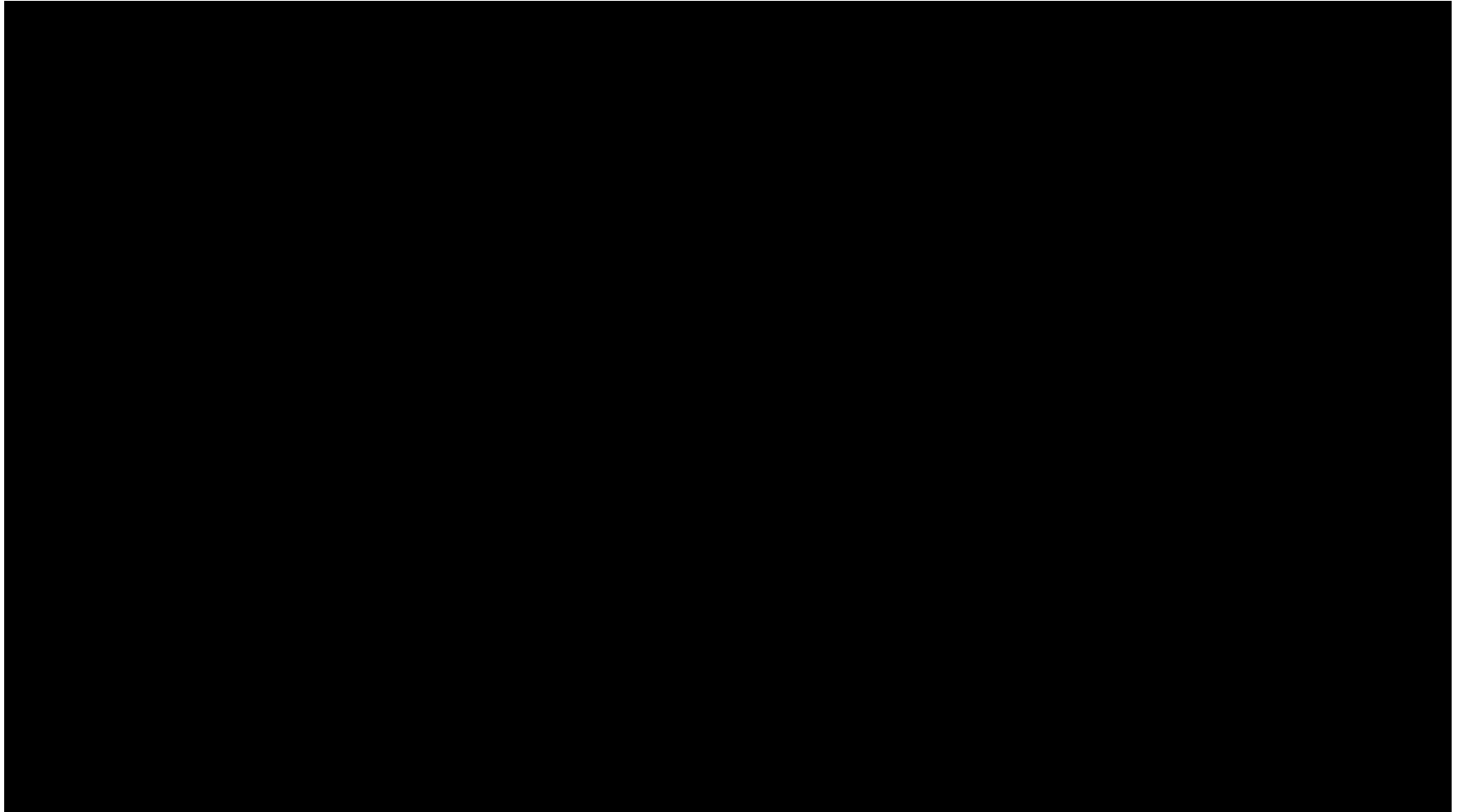


Del analitičnega stroja (London Science Museum)



Babbage: Analitični stroj

YT Video: [False Dawn: The Babbage Engine](https://www.youtube.com/watch?v=XSkGY6LchJs)



II. Elektromehanski računalniki

- Razvoj elektrotehnike je odprl nove možnosti pri realizaciji strojev za računanje
 - Za pogon zobatih koles se uporabijo **elektromotorji** (prej ročno ali parni stroj)
 - V napravah na **osnovi luknjanih kartic** se prisotnost ali odsotnost luknjic ugotavlja **električno in ne več mehansko**
- Herman Hollerith: 1887 prvič uspešno uporabljene naprave na osnovi luknjanih kartic

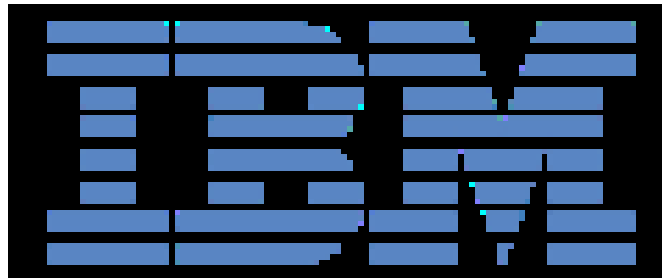
Hollerithov stroj uporabljen pri popisu prebivalstva
(Scott Beale's photostream)



- Hollerith je leta 1896 ustanovil podjetje Tabulating Machine Company, ki se je kasneje združilo še z dvema in leta 1924 preimenovalo v International Business Machines Corporation - IBM



Prvi logo firme IBM

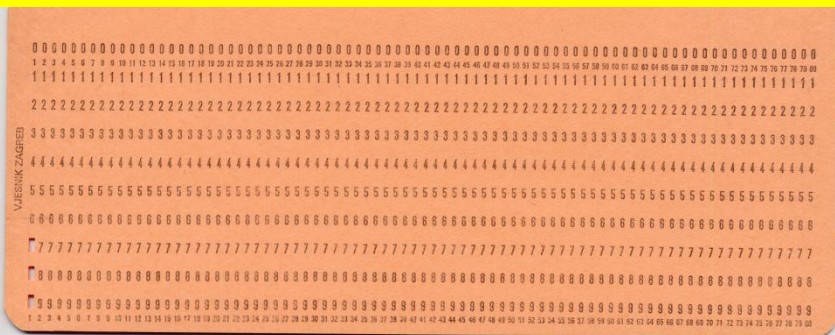


Logo v uporabi od leta 1972 dalje

Stroj za zapisovanje (luknjanje kartic)



Kartica (zapis programov, podatkov z luknjicami)



■ Konrad Zuse (1910 - 1996):

□ **Z1** (l. 1938)

- prvi delujoči stroj Babbage-ve vrste, čeprav ni vedel za Babbagevo delo – popolnoma mehanski

□ **Z2**

- aritmetična enota zgrajena s telefonskimi releji, mehanski pomnilnik od Z1 – nedokončan

□ **Z3** (l. 1941)

- prvi delujoči **programsko vodeni elektromehanski računalnik za splošne namene**
- uporabil je dvojiško in ne desetiško aritmetiko
 - **2600 telefonskih relejev**
 - Relejski pomnilnik **64 22-bitnih besed**
 - 8-bitni ukazi shranjeni **na luknjanem traku**

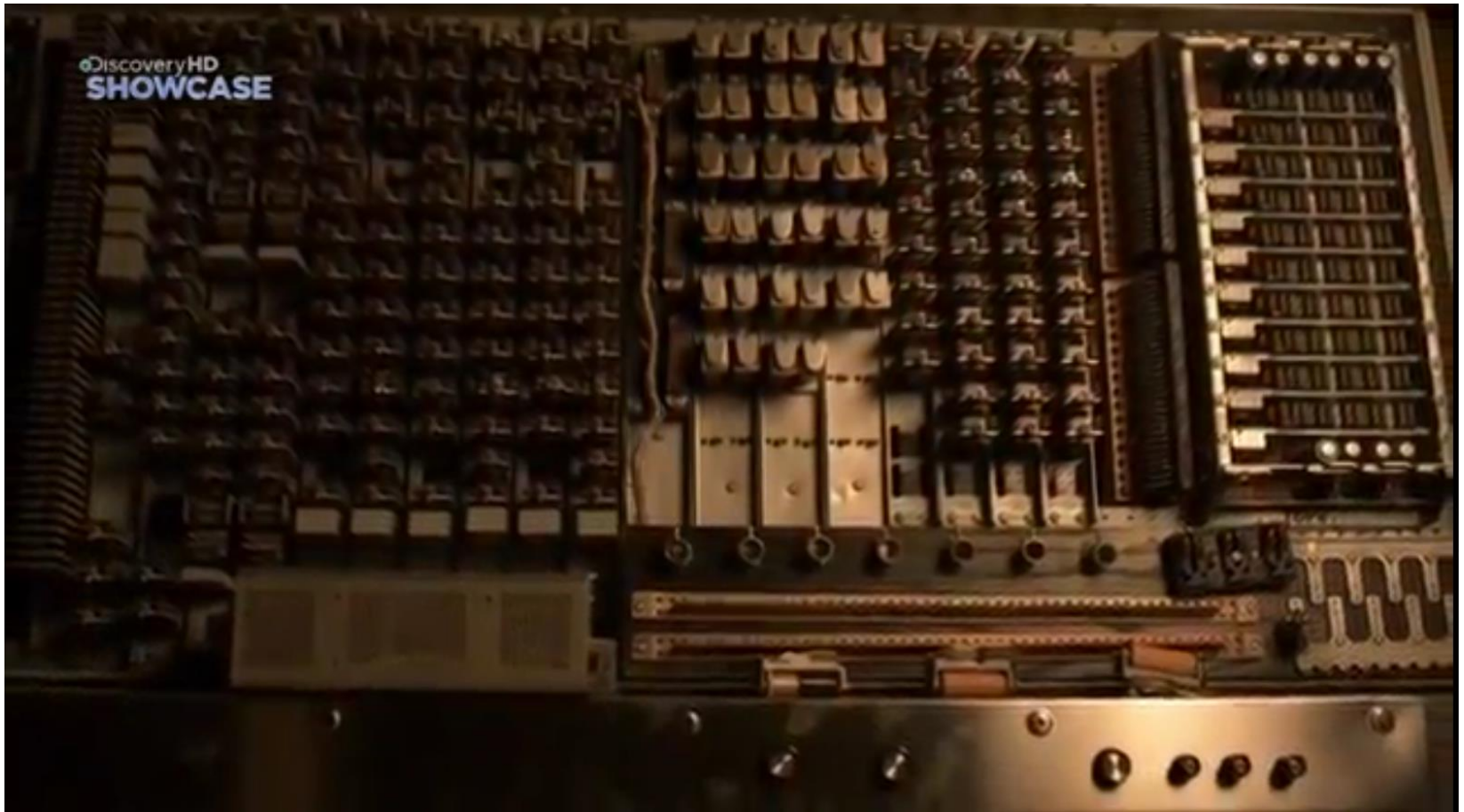


□ Elektromehansko stikalo

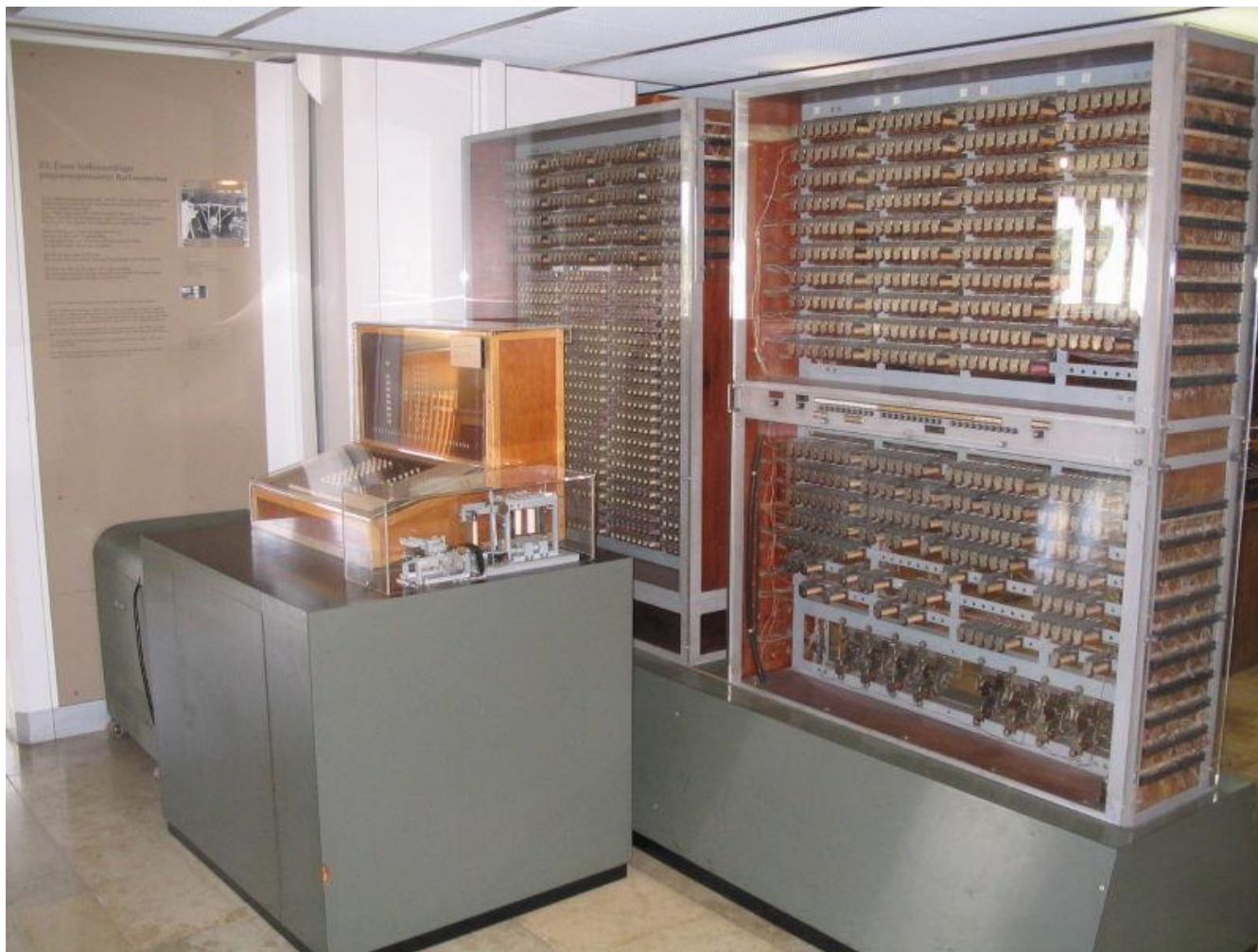
- 1939: Rele,

Z3 v Tehniškem muzeju Muenchen

Computer History - Z3



Z3 v Tehniškem muzeju Muenchen (kopija)



- Harvard **MARK I** končan 1943 v ZDA, stroj **ekvivalenten Babbagovemu analitičnemu stroju**
 - Howard Aiken – fizik na Harvardski univerzi – za razliko od Zuseja je poznal Babbagevo delo
- Sledijo **MARK II, III in IV**
- Harvard Mark I in Zuse Z3 sta podobna stroja:
 - Z3 dvojiška aritmetika
 - Harvard Mark I - desetiška aritmetika
 - Pri obeh **shranjevanje ukazov na luknjanem traku**

III. Prvi elektronski računalniki



□ Elektronsko stikalo

■ 1945-1955: Elektronika,

- Releje zamenjajo elektronke - **preklopni čas $\sim 5 \mu\text{s}$**
- Prvi poskus z uporabo elektronk namesto relejev je bil analogni računalnik (John Atanasoff, Iowa State University)
- Stroji za dešifriranje sporočil razviti med 2. svetovno vojno v Veliki Britaniji
- **ENIAC** (J. Mauchly in J. Eckert, University of Pennsylvania – Moore School of Electrical Engineering)

- **ENIAC** (Electronic Numerical Integrator and Calculator)
 - Dokončan 1945
 - ~ 500 do 1000 krat hitrejši kot MARK I
 - Dimenzije 30m x 3m x 1m
 - 18.000 elektronk, 150 relejev, 140kW
 - Programiranje s stikali (> 6000 stikal) in povezovanje s kabli



IV. Elektronski računalniki s shranjenim programom

- Avtor ideje o računalniku s shranjenim programom je verjetno ameriški matematik madžarskega porekla John von Neumann (1903 – 1957)
- Idejo je **von Neumann** prvič objavil leta 1945 v predlogu za nov elektronski računalnik **EDVAC** (Electronic Discrete Variable Computer)

First Draft of a Report
on the EDVAC

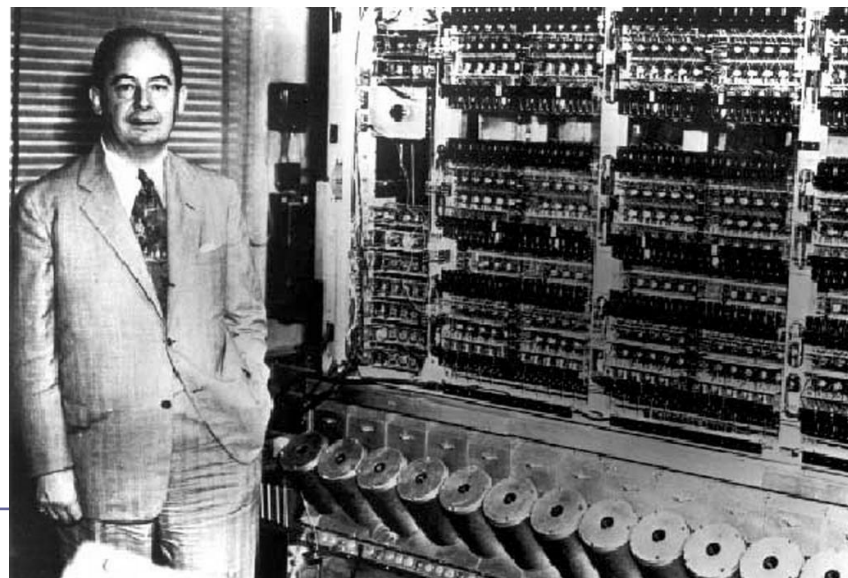
by

John von Neumann

Moore School of Electrical Engineering
University of Pennsylvania

June 30, 1945

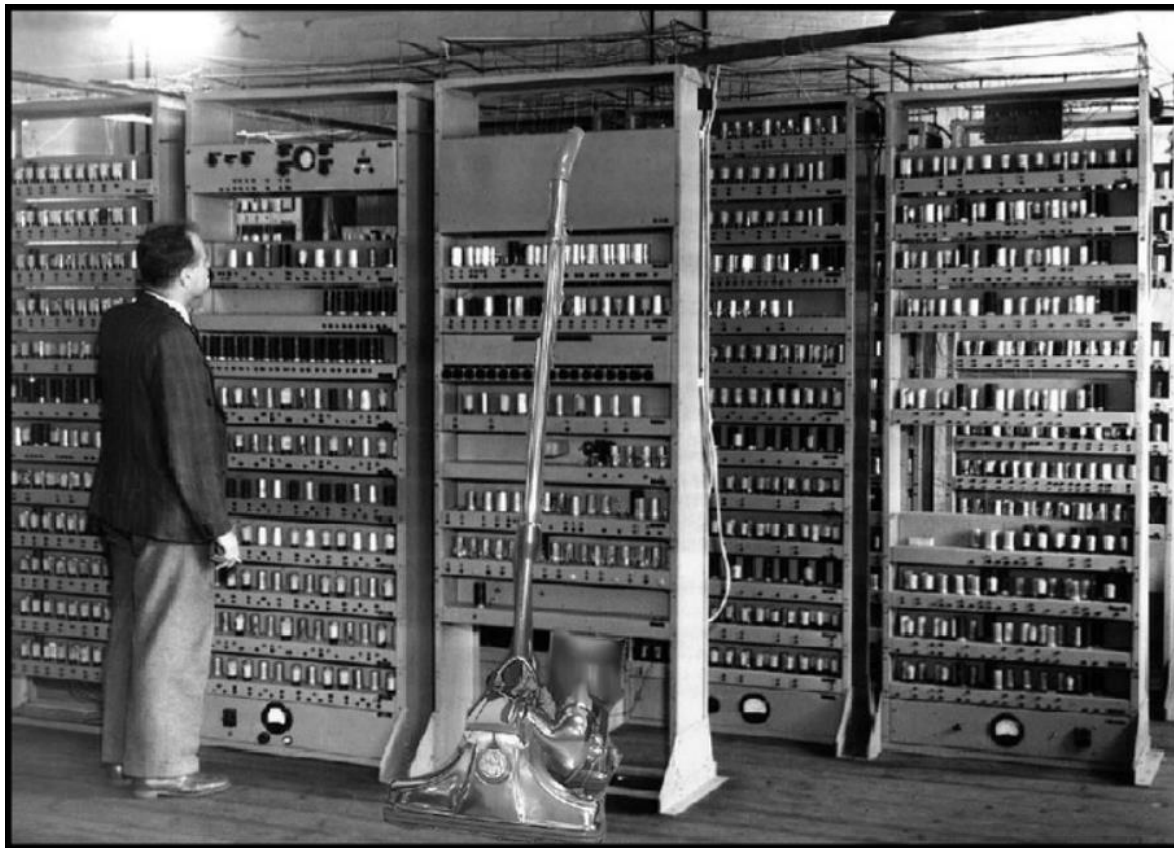
S in John von Neumann (Institute for Advanced Studies)



- EDSAC, EDVAC, IAS

■ EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer)

- Dokončan leta 1951 - osnova je ideja o shranjenem programu v pomnilniku

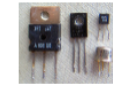


- EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator)
 - Dokončan leta 1949 v Cambridgu v Angliji - prvi delujoči računalnik s shranjenim programom – prehiteli EDVAC
 - Pri njem so prvič uporabili dogovor, ki se uporablja še danes:

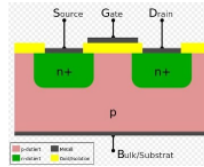
ČE UKAZ NE ZAHTEVA DRUGAČE (SKOČNI UKAZ), SI UKAZI
SLEDIJO EDEN ZA DRUGIM PO NARAŠČAJOČIH NASLOVIH

- IAS (kratica za Institute for Advanced Study)
 - Paralelni stroj približno 10-krat hitrejši od ENIACA (EDVAC in EDSAC sta delovala zaporedno – bit za bitom)
 - Pomnilnik z naključnim dostopom
 - Programski števec - register, ki vsebuje naslov naslednjega ukaza

V. Razvoj po letu 1950



- 1955: Tranzistor → ,



- 1958: Integrirano vezje - čip,
- 1980: VLSI integrirana vezja
 - [Very Large Scale Integration](#)

- Razvoj je bil **bolj tehnološki kot pa arhitekturni**
- Po letu 1955 so elektronke pričeli zamenjevati **tranzistorji**
 - Manjši, hitrejši, bolj zanesljivi
- Prelomnice:
 - Pojav **mikroprocesorjev** leta 1971 (Intel 4004)
 - Osebni računalnik **IBM PC** leta 1980
 - Prvi **ARM** procesor 1985 (ideja RISC)
 - **RISC-V** objava opisa ukazov 2011

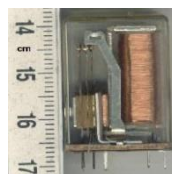
Predpone merskih enot

Oznaka	Ime	Vrednost	Zapis s potenco (znanstveni zapis)
p	piko	0,000 000 000 001	10^{-12}
n	nano	0,000 000 001	10^{-9}
μ	mikro	0,000 001	10^{-6}
m	mili	0,001	10^{-3}
K	kilo	1 000	10^3
M	mega	1 000 000	10^6
G	giga	1 000 000 000	10^9
T	tera	1 000 000 000 000	10^{12}

Realizacija stikala kot osnovnega gradnika – povzetek razvoja :

□ Elektromehansko stikalo

- 1939: Rele,



čas preklopa

1-10ms

□ Elektronsko stikalo

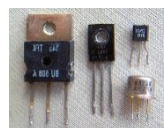
- 1945-1955: Elektronka,



čas preklopa

~ 5 μ s

- 1955: Tranzistor → ,



čas preklopa

~10ns

- 1958: Integrirano vezje - čip,

- 1980: VLSI integrirana vezja

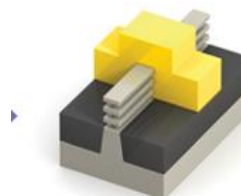
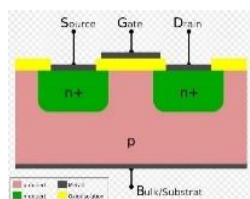
čas preklopa

2-10ns

čas preklopa

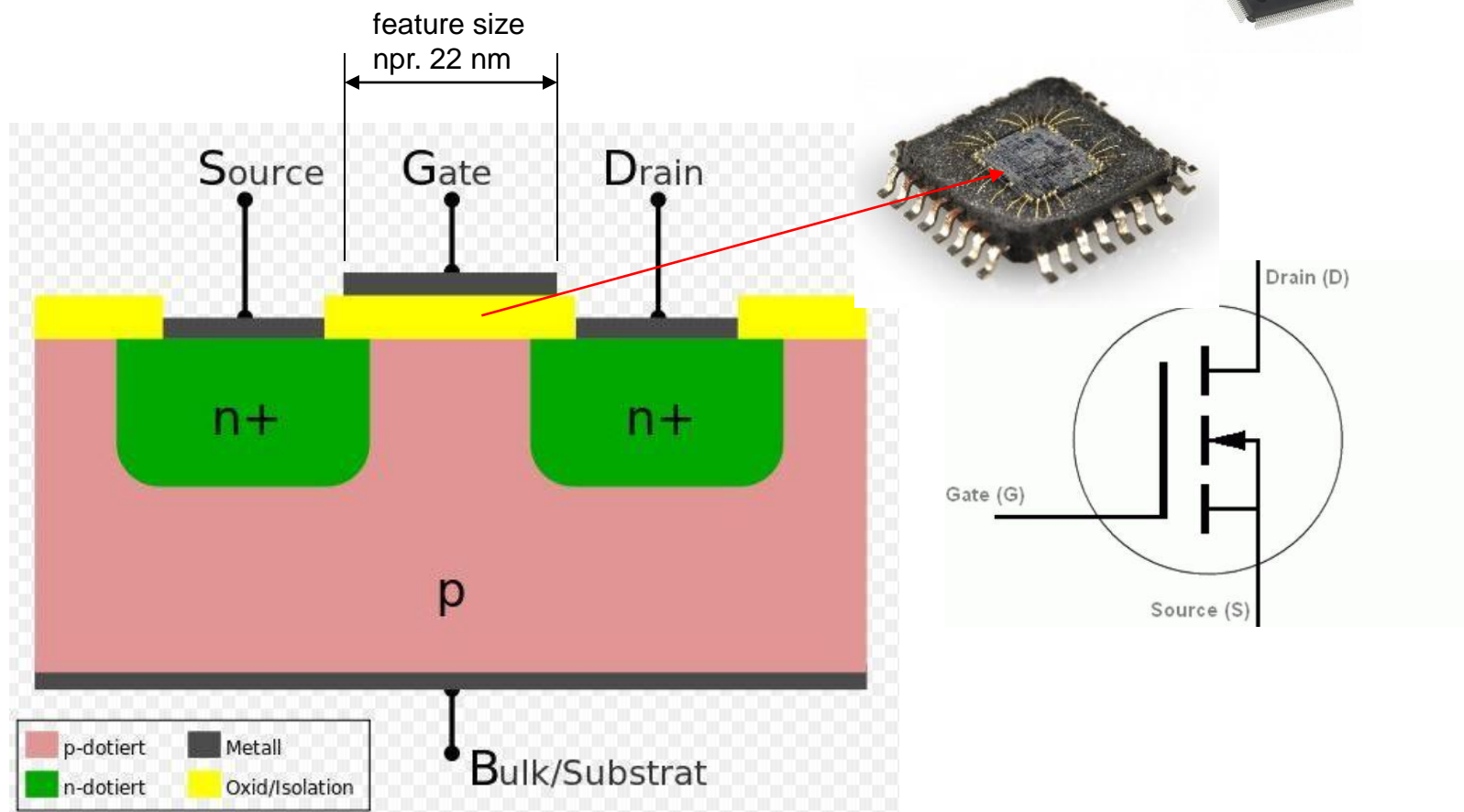
< 0.1ns

- Very Large Scale Integration



Stacked nanosheet FET

Tranzistor kot del integriranega vezja VLSI



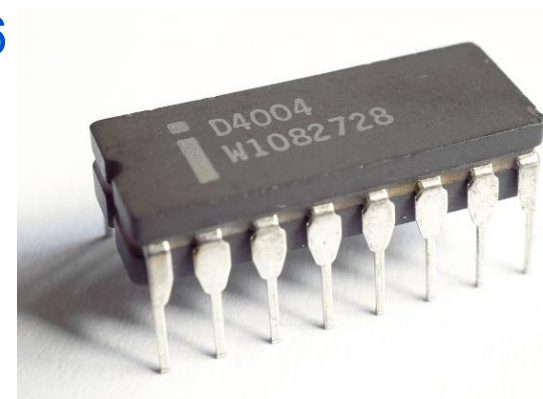
V. Razvoj po letu 1950

Prelomnice (z vidika RA) :

- I. Pojav mikroprocesorjev leta 1971 (Intel 4004)
- II. Osebni računalnik IBM PC leta 1980
- III. Prvi ARM procesor 1985
- IV. RISC-V objava opisa ukazov 2011

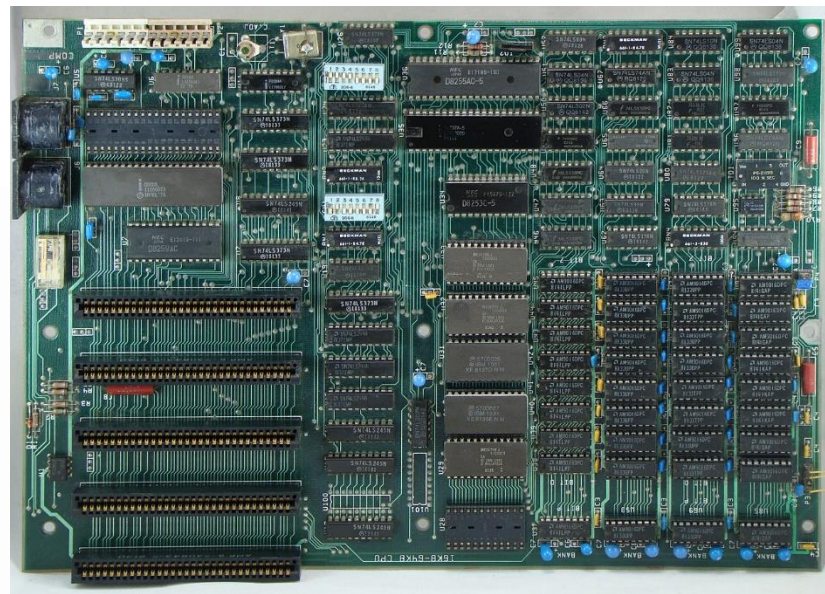
Prelomnica I : Pojav mikroprocesorjev leta 1971

- prvi procesor na enem čipu **Intel 4004** (leto 1971)
 - **2.250** tranzistorjev na ploščici 3,2 x 4,2 mm
 - **10 μm** proces (feature size 10 μm = 10×10^{-6} m = 0,00001 m, človeški las ima premer približno 100 μm)
 - **16** kontaktov
 - Izvedba ukaza 10,8 μs (= 0,0000108 s) ali 21,6 μs
 - Poraba **1,0 W**
 - Cena (preračunana na današnja razmerja) \$26



■ Prelomnica II : Osebni računalnik IBM PC/XT leto 1981

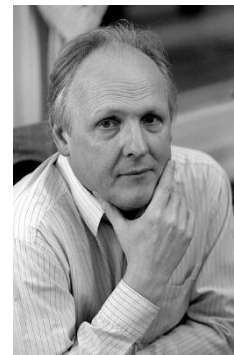
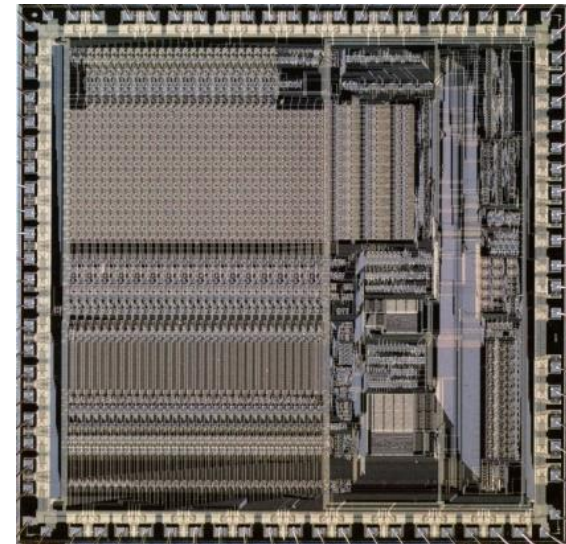
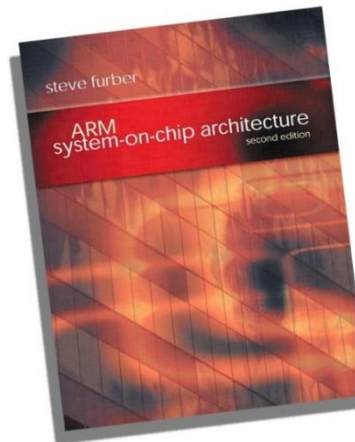
- Procesor Intel 8088, frekvenca ure 4,77 MHz
 - x86 arhitektura (prva generacija)
- Pomnilnik 128 KB do 640 KB
- Ena ali dve disketni enoti 5,25"
- Trdi disk 10 MB



Intel 8088

■ Prelomnica III : Prvi ARM procesor 1985

- 25000 tranzistorjev
- Poraba 1W
- Realizacija RISC ideje



Steve Furber
principal designer of
the [BBC Micro](#) and
the [ARM 32-bit RISC microprocessor](#).^[15]

Spletna simulacija :

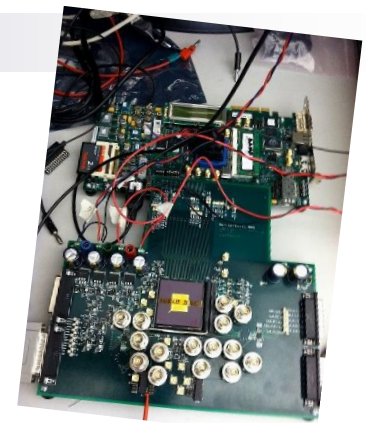
<http://visual6502.org/sim/varm/armgl.html>

■ Prelomnica IV : Prva objava RISC-V ISA (2011)

□ Odprta ideja, realizacija (BSD)

RISC-V is an open standard Instruction Set Architecture (ISA) enabling a new era of processor innovation through open collaboration

RISC-V enables the community to share technical investment, contribute to the strategic future, create more rapidly, enjoy unprecedented design freedom, and substantially reduce the cost of innovation



The RISC-V Instruction Set Manual, Volume I: Base User-Level ISA

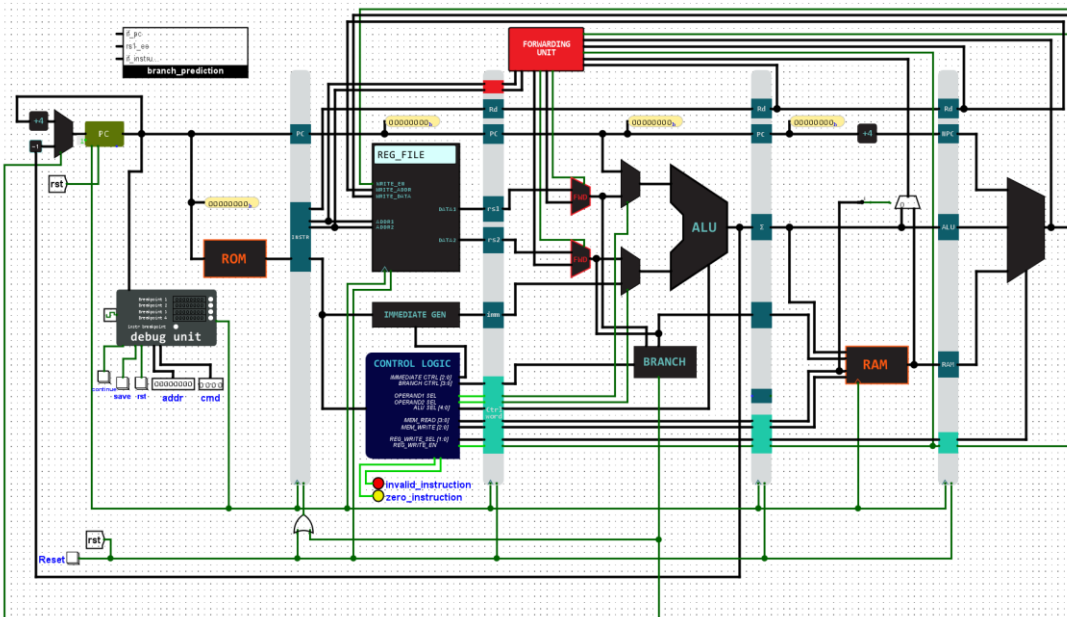
Andrew Waterman
Yunsup Lee
David A. Patterson
Krste Asanovic

<https://riscv.org/about/history/>

Electrical Engineering and Computer Sciences
University of California at Berkeley

Technical Report No. UCB/EECS-2011-62
<http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2011/EECS-2011-62.html>

May 13, 2011



Zuse 23 prvi digitalni računalnik v Ljubljani leta 1962/1963



Prvi računalniki v Sloveniji, 4. del – elektronski računalnik Zuse Z-23

Z naslova <<https://www.racunalniski-muzej.si/prvi-racunalniki-v-sloveniji-4-del-elektronski-racunalik-zuse-z-23/>>

Računalnik IBM 1130 - prvi digitalni računalniki na Univerzi v Ljubljani leta 1971

