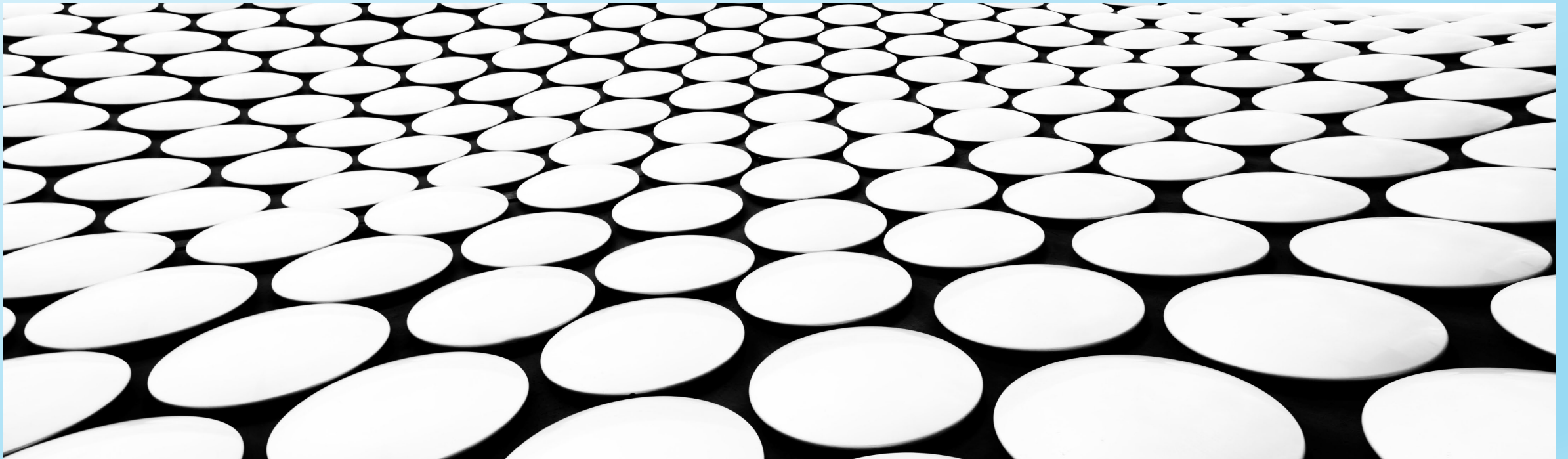


---

# ARHITECTURA SISTEMELOR DE CALCUL

UB, FMI, CTI, ANUL III, 2022-2023



# Performante energetice

## Care este interesul programatorului

Programatorii de succes au fost întotdeauna preocupați de performanța programelor lor, deoarece obținerea rapidă a rezultatelor pentru utilizator este esențială în crearea unui software de succes.

Anii **1960 - 1970** -- memoria a fost constrângerea primară.

Anii **2000 - 2010** -- Natura paralelă a procesoarelor și natura ierarhică a memoriilor.

Astăzi -- Eficiența energetică a programelor devine o tinta relevanta.

Ce tehnici pot fi folosite de designerii de hardware pentru a îmbunătăți eficiența energetică?

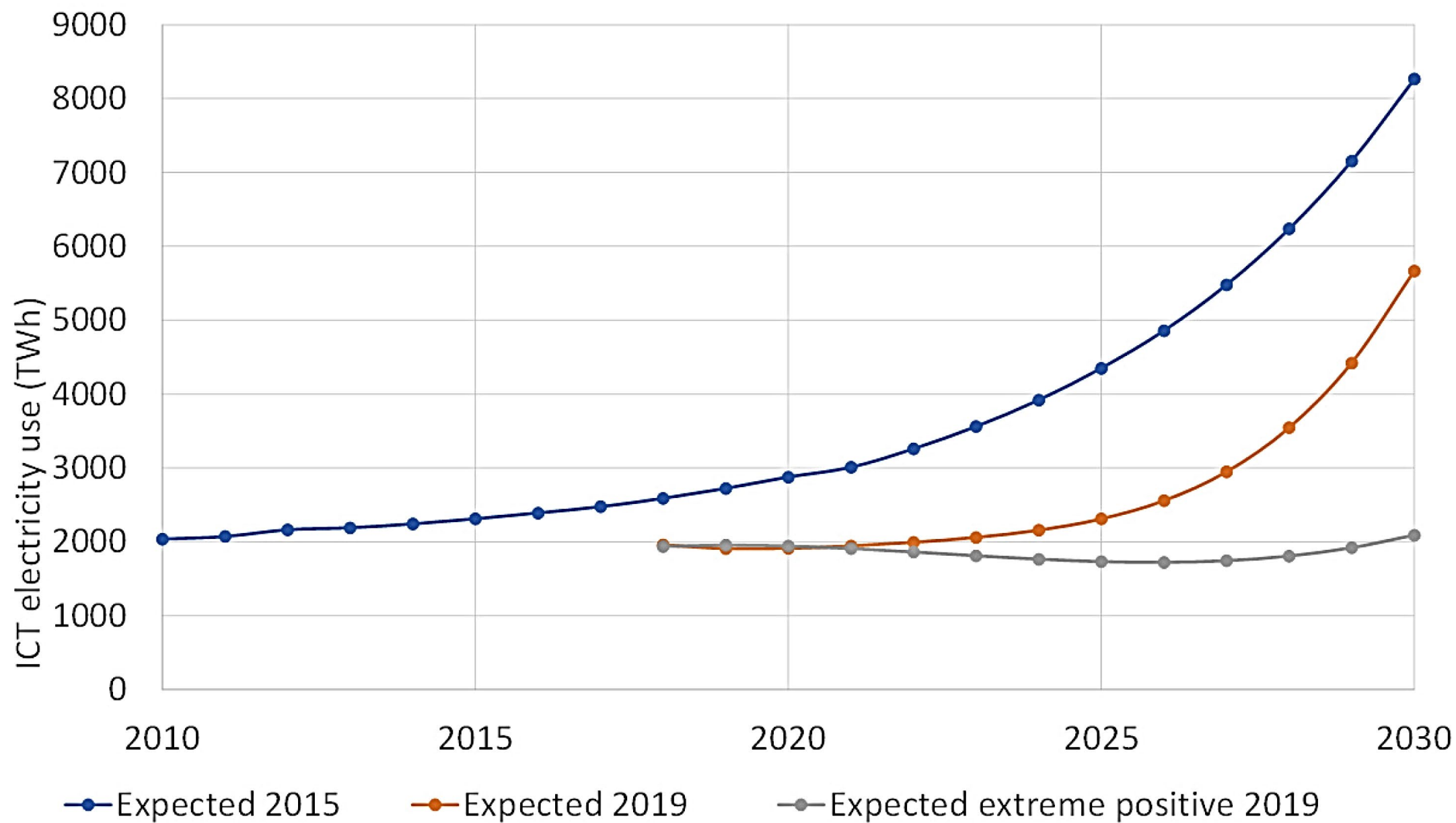
Modificarea frecvenței de ceas

Atât frecvența de ceas, cât și puterea au crescut rapid timp de zeci de ani, apoi creșterea s-a aplatizat relativ recent (începând 2004 cu Pentium IV Prescott).

Motivul pentru care cei doi parametri au crescut împreună este că sunt corelați.

Motivul pentru încetinirea recentă a creșterii este că ne-am confruntat cu apropierea de limita practică de putere impusă de răcirea microprocesoarelor

Deși puterea manifestă o limită impusă ceea ce putem răci, în era PostPC resursa cu adevărat critică este **energia**.



La fel cum măsurarea timpului în secunde este o măsură mai certă a performanței programului decât o rată precum MIPS, măsurarea energiei în Jouli este o măsură mai bună decât o putere exprimată în Wați, care este Joule/secundă.

Tehnologia dominantă pentru circuitele integrate se numește:  
CMOS (semiconductor complementar de oxid de metal)

**Energia dinamică:** energie care este consumată atunci când tranzistoarele comută între stările de 0 și 1 sau invers.

**Energia ~ capacitatea electrică × tensiunea electrică<sup>2</sup>**

Această relație exprimă energia unui puls în timpul dublei tranziții logice **0 → 1 → 0** sau **1 → 0 → 1**.

Pentru o singură tranziție energia este:

**Energia ~  $\frac{1}{2}$  × capacitatea electrică × tensiunea electrică<sup>2</sup>**

Puterea necesară per tranzistor este doar produsul energiei unei tranziții cu frecvența tranzițiilor:

**Puterea  $\sim \frac{1}{2} \times \text{capacitatea electrică} \times \text{tensiunea electrică}^2 \times \text{frecvența de comutare}$**

Frecvența de comutare este funcție de frecvența de ceas.

Capacitatea per tranzistor este o funcție atât de numărul de tranzistori conectați la o ieșire cât și de tehnologie, care determină capacitatea atât a firelor, cât și a tranzistorilor.

Deși energia dinamică este sursa principală de consum de energie în CMOS, consumul de **energie statică** are loc din cauza **curentului de pierderi** care curge chiar și atunci când un tranzistor este oprit.

La servere, pierderile sunt de obicei responsabile pentru 40% din consumul de energie.

Astfel, creșterea numărului de tranzistori mărește disiparea puterii, chiar dacă tranzistoarele sunt întotdeauna oprite.



# PERFORMANTE ENERGETICE

- Consumul de energie per comutare ( $0 \rightarrow 1$  sau  $1 \rightarrow 0$ )

$$E_C = \frac{1}{2} C_l \cdot U^2$$

$C_l$  este o capacitate specifica circuitului de comutare.

Aceasta capacitate este proporțională cu aria specifica medie a unui circuit de comutare si depinde de tehnologia microelectronica de fabricare a cipurilor.

Puterea  $P$  consumata de circuitul de comutare este proporțională cu frecvența de comutare ( $F_c$ ):

$$P = E_C \cdot F_C$$



## Modalități de scădere a consumului de energie

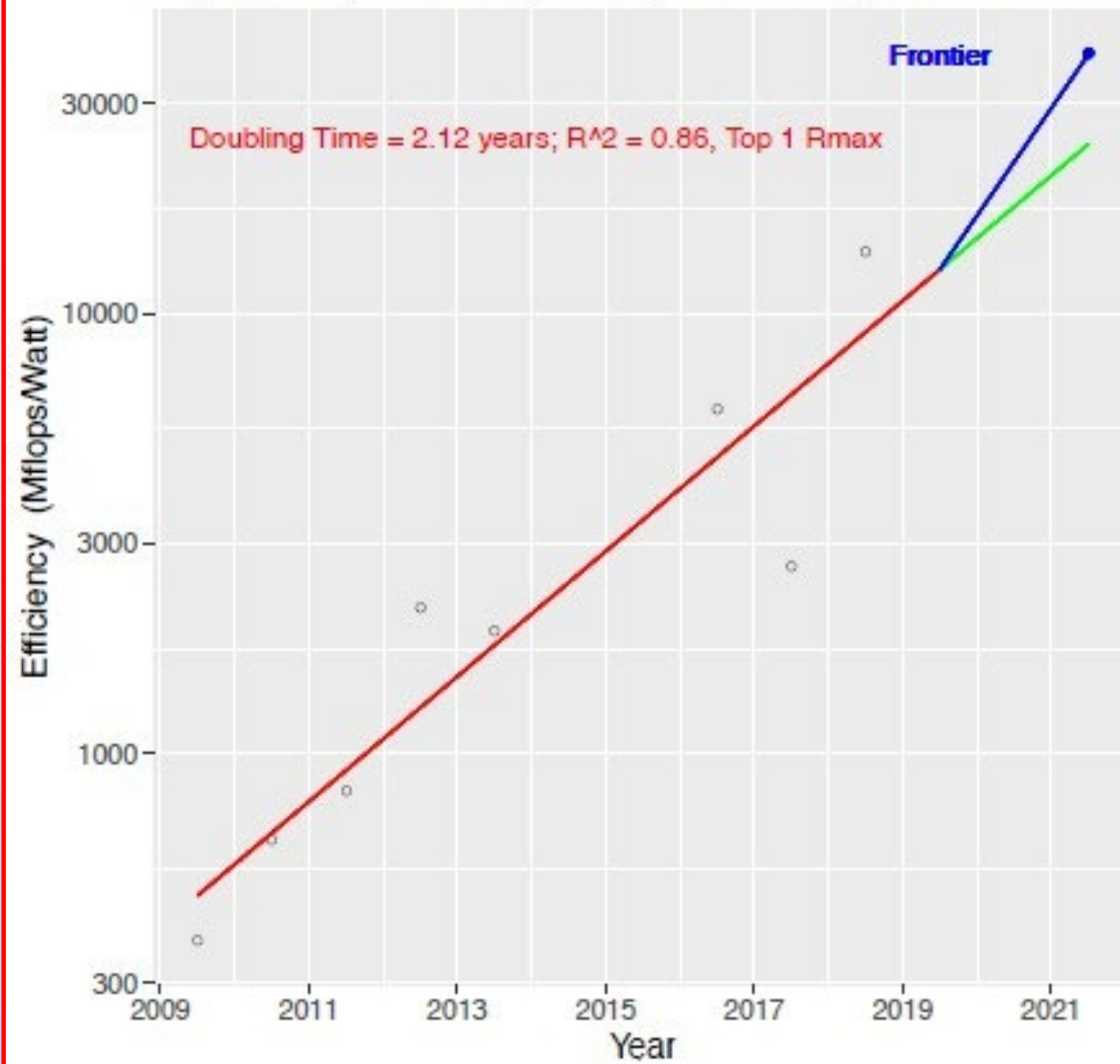
- Scăderea tensiunii de alimentare
- Miniaturizarea

## Factori care determina cresterea consumului de energie

- Cresterea frecvenței de lucru
- Efectul de ambalare termica:

La cresterea temperaturii interne a circuitului creste capacitatea specifica  $C_1$  si o data cu ea creste suplimentar consumul de energie. Aceasta ultima crestere are ca efect cresterea suplimentara temperaturii.

Top500 list, Efficiency of Top Performing Machines



|                         | Processor<br>Power (Watt) | Baseline Phases<br>(Watt) | Atributable to<br>Linpack<br>Execution<br>(Watt) | Rmax<br>(GFLOPS) | Power Efficiency<br>(GFLOPS/Watt) | RSD<br>(Relative<br>Standard<br>Deviation) |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|--|------------------|-----------------------------------|--|
| i5-3210M (3rd gener.)   | 19.85 ± 0.06              | 11.90 ± 2.52              | 7.95 ± 1.69                                      | 32.64            | 4.1 ± 0.87                        | 0.21                                       |
| i5-4200H (4th gener.)   | 37.59 ± 0.25              | 12.19 ± 1.56              | 25.40 ± 3.27                                     | 74.64            | 2.9 ± 0.38                        | 0.13                                       |
| i7-6500U (6th gener.)   | 15.55 ± 0.17              | 1.30 ± 0.38               | 14.25 ± 4.18                                     | 63.92            | 4.5 ± 1.32                        | 0.29                                       |
| i5-10400T (10th gener.) | 30.03 ± 0.06              | 1.14 ± 0.40               | 28.89 ± 10.14                                    | 112.28           | 3.9 ± 1.36                        | 0.36                                       |
| i7-1165G7 (11th gener.) | 21.22 ± 1.94              | 2.31 ± 0.25               | 19.01 ± 2.40                                     | 148.47           | 7.8 ± 0.99                        | 0.13                                       |

