1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Inseneri ja tehnoloogia võidujooksust nanomeeterdistantsil

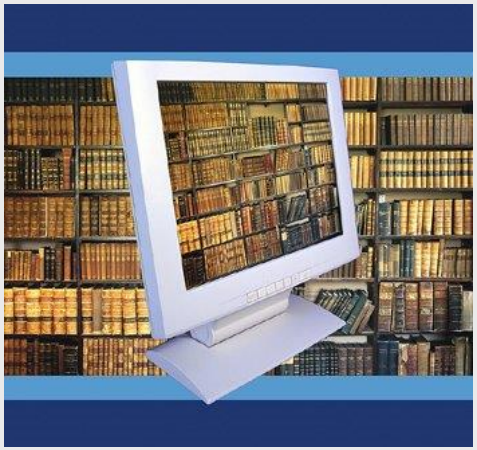
Raimund Ubar

Joonistus: Tiina Ubar

Positsioonidest sellel võidujooksul?

- ✓ Kes järgneb kellele? Tehnoloogia vs. inimene?
  - **Tehisintelligents.** Kas me saavutame selle?
  - **Tehnoloogiline singulaarsus.** Kas inimene jääb tehnoloogiat valitsema?
    - Üks dzhinn on pudelist välja pääsenud– **Internet**
    - Kas see on hea dzhinn või halb dzhinn? Seda ei tea me veel
    - Me ei tea veel, kuidas infoplahvatus mõjub inimese mälule, tähelepanule ja vaimsetele võimetele

Revolutsioonid ja kirjaoskus

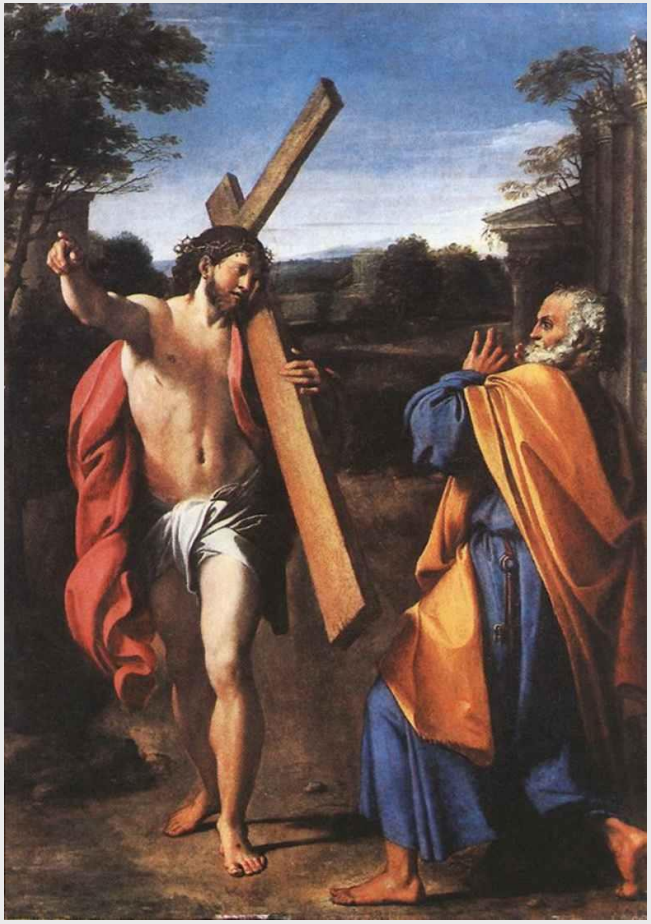


- **Kolm tehnoloogilist revolutsiooni**
  - Põllumajandusrevolutsioon
  - Tööstusrevolutsioon
  - **Digitaalne revolutsioon**

- **Neli kirjaoskust**
  - Lugeda ja kirjutada lineaarset teksti
  - Oskus arvutit kasutada
  - Oskus leida andmetulvast infot
  - **Oskus luua arvutitarkuse abil imesid ehk uut tarkust**

Quo Vadis, tehnoloogia?

- **Innovatsioon:** autotööstuse innovatsioonist on 90% seotud elektroonikaga
- **Tehisintelligents** ei teki inimese käe läbi mingi projektina
- **Tehismaailma evolutsioon**, kus masinprojekteerimine ja automaatne tööstus on haaratud positiivse tagasisidega, viib tehisintelligentsini
- Kõik, mida insenerid on teinud head on – **99%**
- Ülejäänud **1%** tähendab inseneride **süüd** ühiskonna ees, mis tuleb lunastada

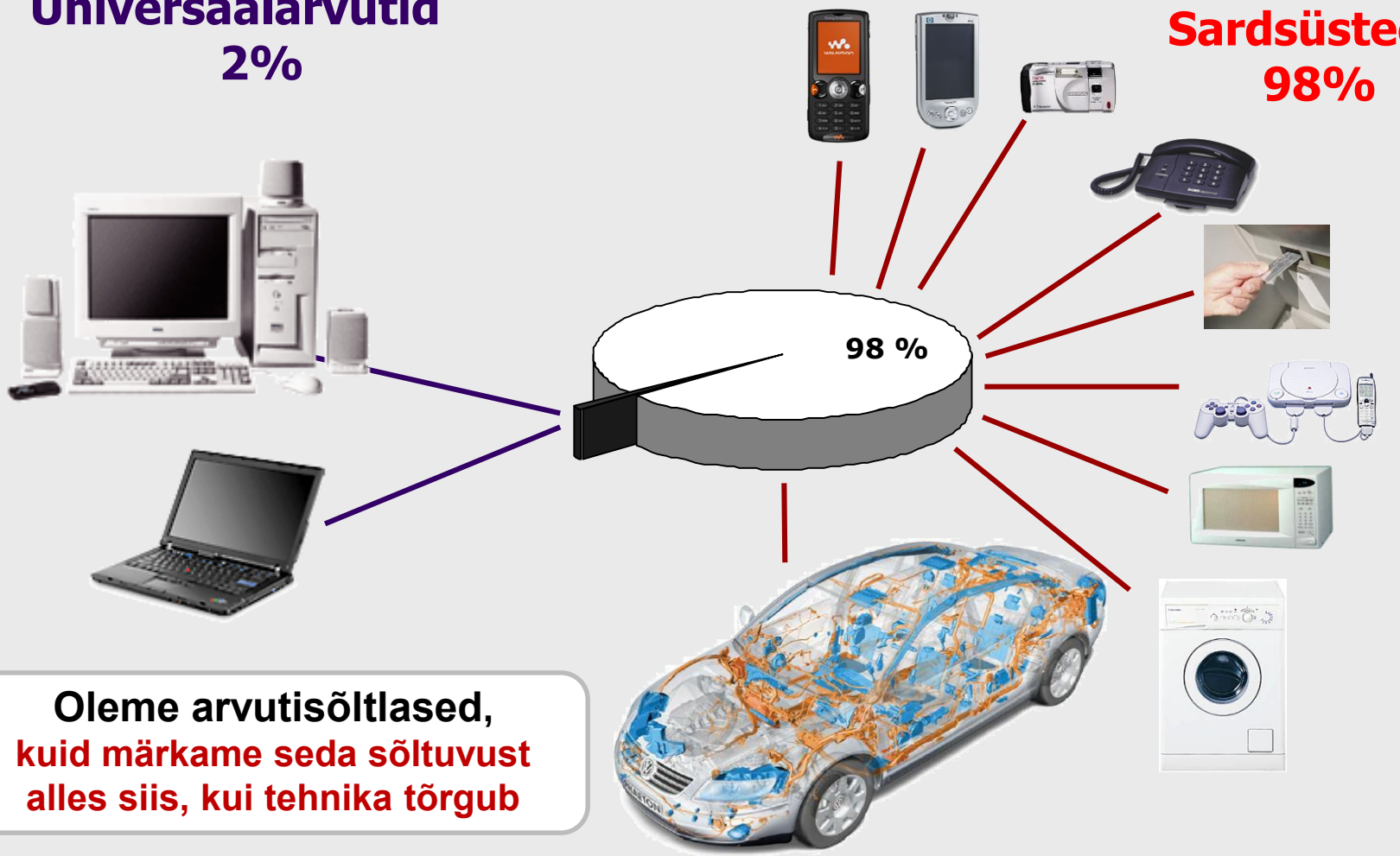


Domine, quo vadis ? Annibale Carracci (1602)

Arvutid ja sardsüsteemid

Universaalarvutid
2%

Sardsüsteemid
98%



Oleme arvutisõltlased,
kuid märkame seda sõltuvust
alles siis, kui tehnika tõrgub

Millest edasi juttu tuleb?

- ✓ **Elektroonikast**
- ✓ **Tehnoloogia trendidest**
- ✓ **Süsteemidest**
- ✓ **Usaldusest**
- ✓ **Testimisest**
- ✓ **Graafidest**
- ✓ **ATIst**
- ✓ **CEBEst**

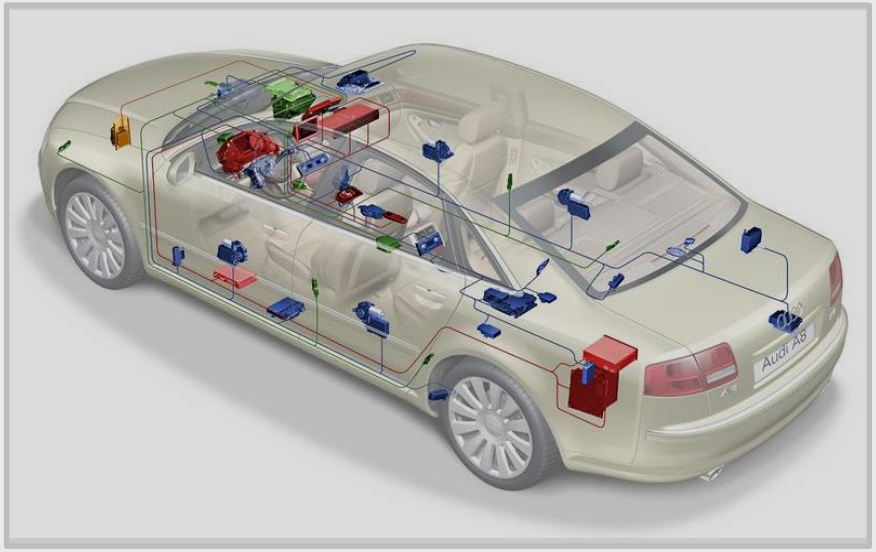
Sardsüsteemid

- **Sardsüsteem** (*embedded system*) – arvuti tehissüsteemi lahutamatu funktsionaalse osana
- Teisi nimesid: rakendusarvutid, kinnissüsteemid, rakissüsteemid, reaktiivsüsteemid...
- Põhikriteeriumid: reaalaeg, madal energiatarve, **töökindlus, usaldatavus**

- **Missioonikriitilisus** – vs. "*best effort systems engineering*" ehk "nii-head-kui-võimalik" süsteemid
- **Innovatsiooni süda ja hing**, mida publik ei näe otseselt – "ubiquitous computing" ehk ubikviidne või "kõikjal olev"

Sardsüsteemide levik

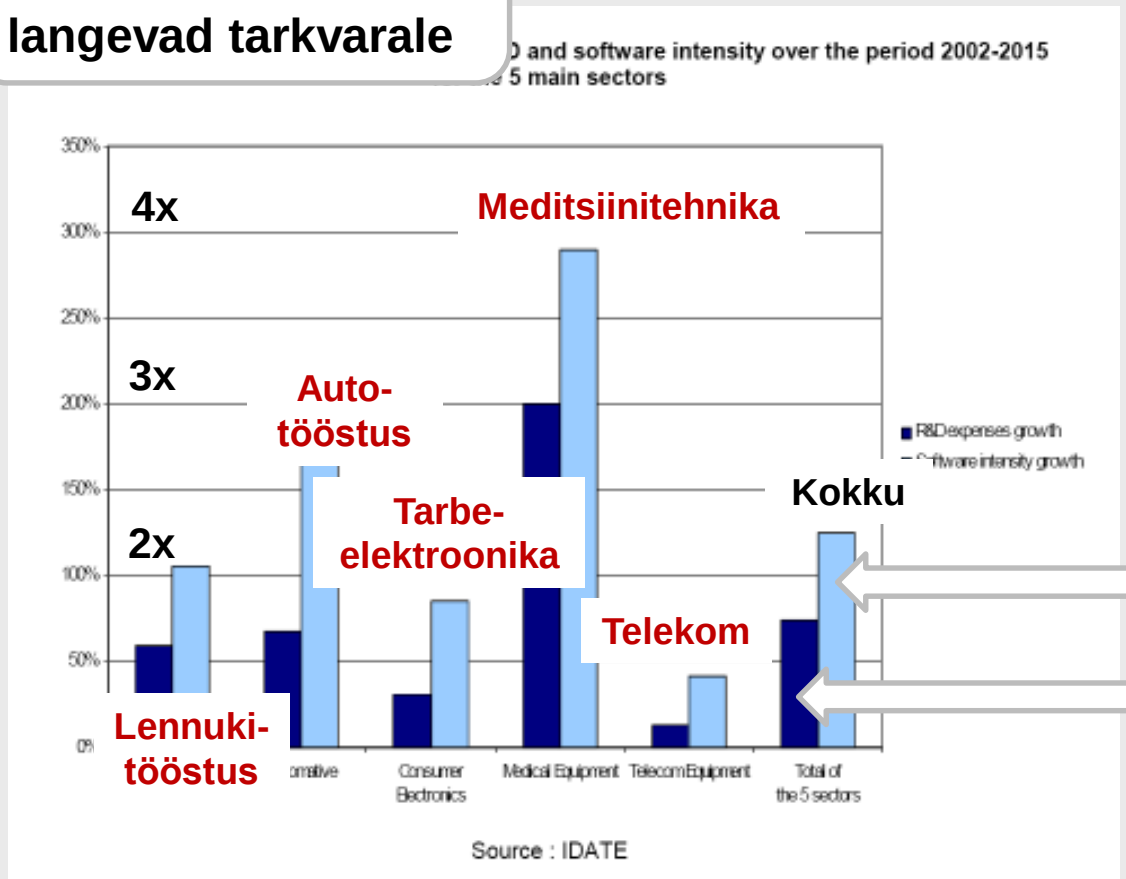
- Mobiiltelefonid
  - **Mobiiltelefonide arv aastal 2009 oli 4,6 miljardit**
  - 5 aastat tagasi ennustati nende arvuks 4 miljardit aastal 2011
  - 20 aastaga on nende arv suurenenud 370 korda

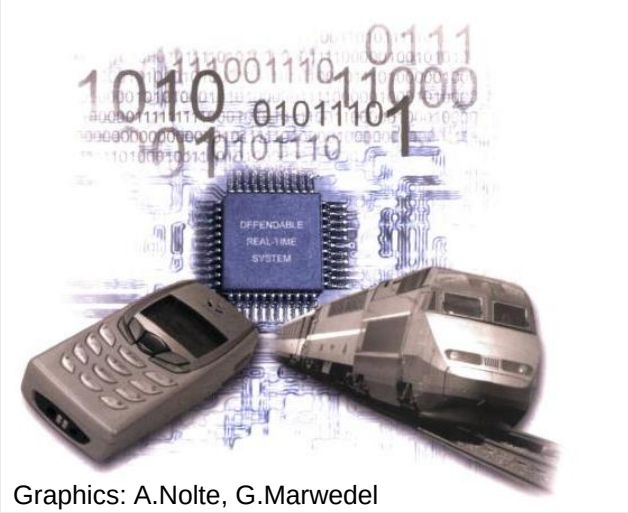


- Autod
  - **Uusimate autode mudelites on enam 100 sardsüsteemi**
  - Kokku annab autonduse turg 7% Euroopa GNP-st
- Meditsiin
- Tööstusautomaatika
- Robootika
- Targad hooned

Tarkvaratööstuse kasv (2002-2015)

Ca 50% süsteemide arendustöö kuludest langevad tarkvarale





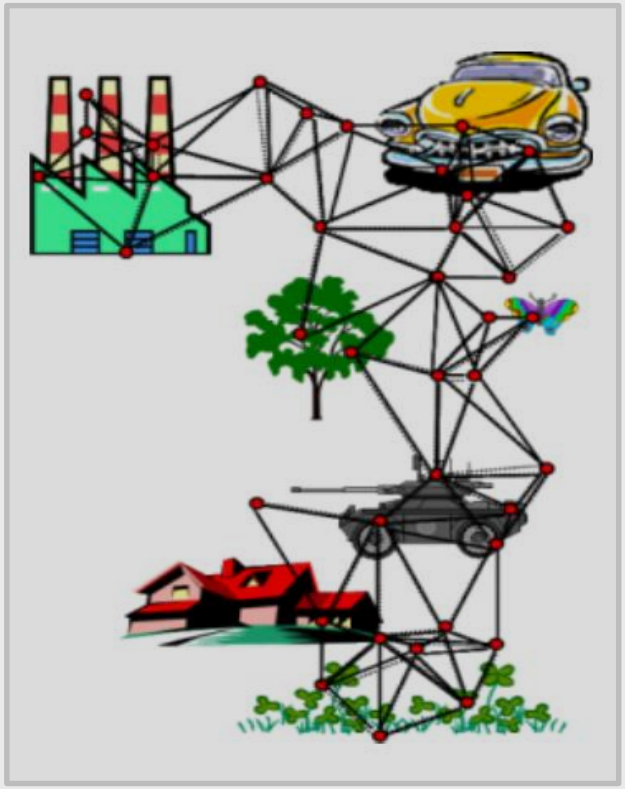
Graphics: A.Nolte, G.Marwedel

Tarkvara kulutused

Teadus-arendustöö kulutused

Eurodest ja dollaritest

- ✓ Planeedil hinnatakse olevat praegu 16 miljardit sardsüsteemi
- ✓ Tarkvara väljatöötamiskulud Euroopas ühe aasta vältel on 1600 miljardit eurot
- ✓ Elektroonikatööstuse maht
  - ✓ Terves maailmas - 1378 miljardit dollarit
  - ✓ Saksamaal 160 miljardit eurot
- ✓ **Tarkvara** projekteerimise kuludest läheb kuni **50%** vigade otsimisele ja kõrvaldamisele
- ✓ **Riistvara** projekteerimise ja valmistamise kuludest läheb kuni **70%** testimisele ja diagnostikale

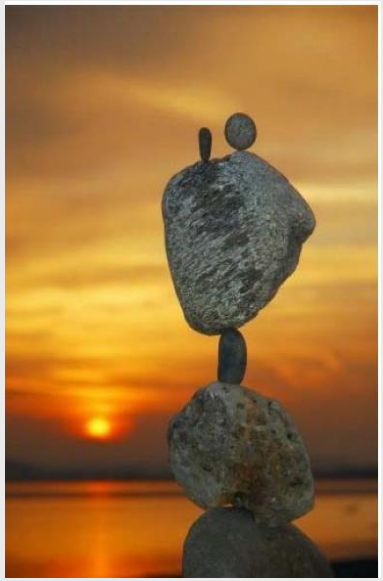


M.Glesner TU Darmstadt

Kategooriline imperatiiv

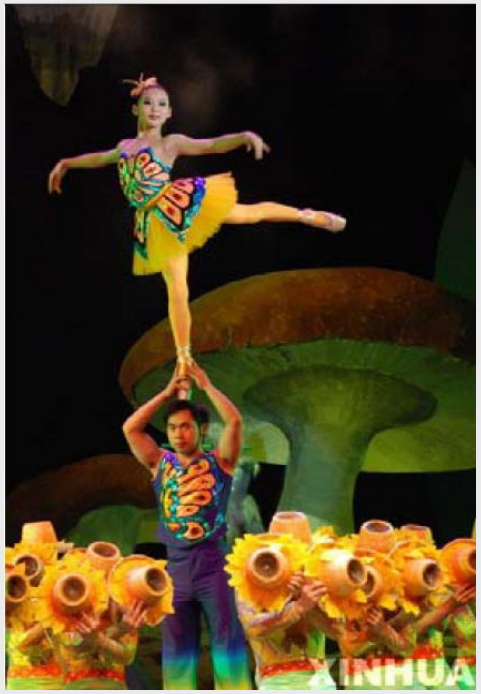
- Süsteemide **kvaliteet** – inseneri kategooriline imperatiiv
- Kvaliteedi (**usaldatavuse**) tagamine läheb üha raskemaks tehnoloogia keerukamaks muutumisel ja süsteemidele üha vastutusrikkamate ülesannete andmisel
- *Design for dependability* – **usalduse projekteerimine**
- Vajame uut tüüpi inseneriharidust, "usaldusinsenere", teadusuuringuid selles vallas
- Objekt "jookseb kiiremini eest ära" kui talle järele jõuame. Uued tehnoloogiad nõuavad uusi paradigmasid, uusi teooriaid
- Üheks meetodiks on – **kiiruse piirangud**
  - maanteeliikluses – oleme sellega harjunud
  - aga kiipides - **paradoks**

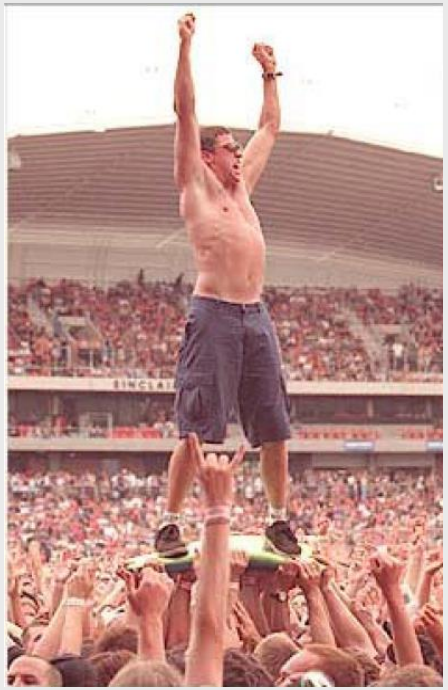
Veakindlus



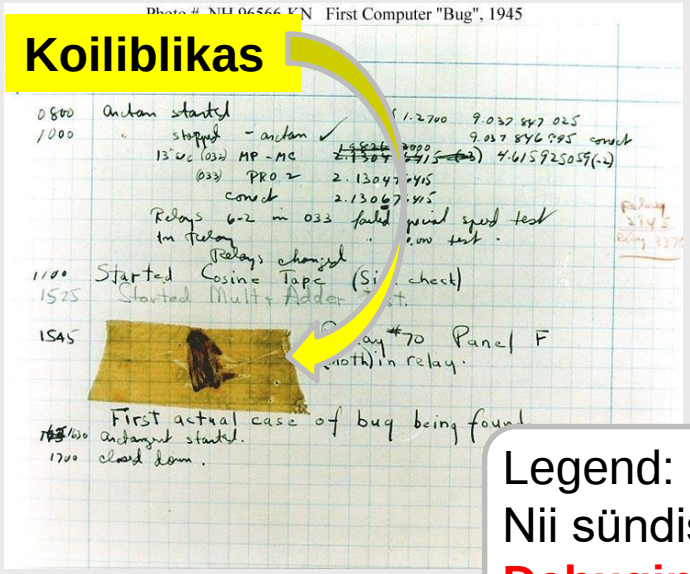
- ✓ **Immuunsüsteem:** ei saa garanteerida rünnete ja rikete puudumist
- ✓ Aga võime näha ette vahendeid immuunsuse (robustsuse) loomiseks

- ✓ Nanotehnoloogia ajastu algab 100 nm transistori mõõtmest, täna on see 30 nm
- ✓ **Vigastest elementidest on vaja teha töötavaid süsteeme**





© Z.Peng, U Linköping



Rikked arvutites

- ✓ **1945.** Esimene arvutiviga maailmas:
  - Koi sattub Harwardis arvuti Mark II kahe relee vahele
  - Logiraamatusse kirjutati: ***"Hey, we actually found a bug that was a real bug!"***

Legend:
Nii sündiski termin
Debuging

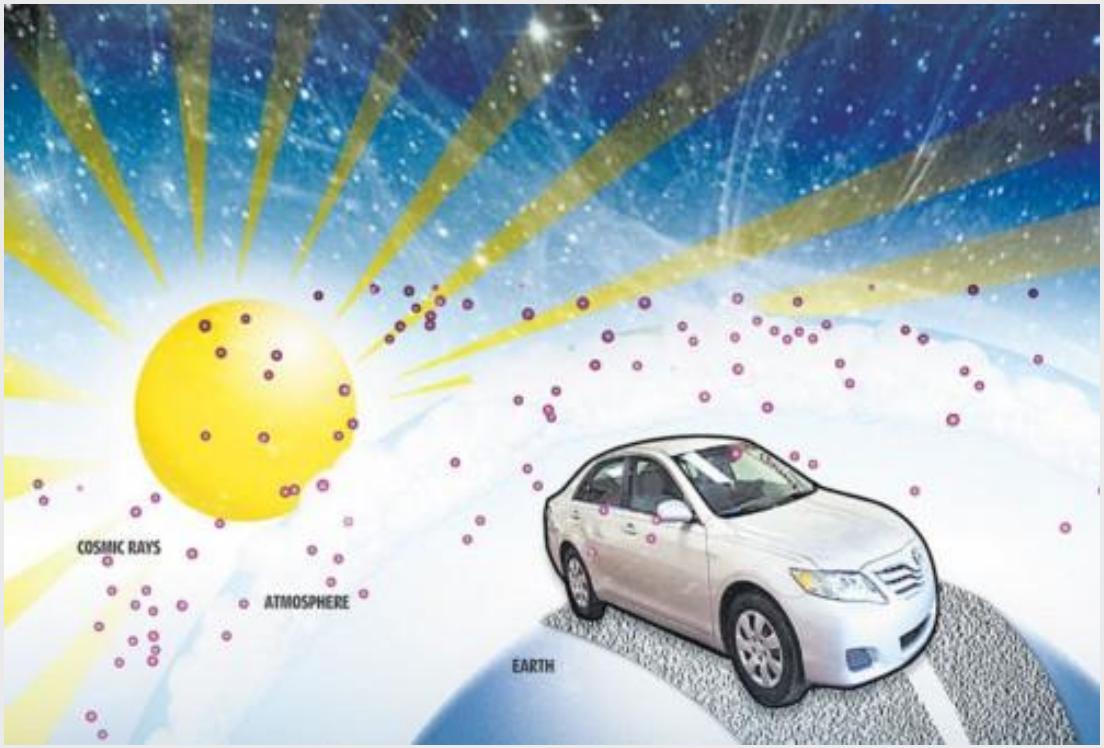
- ✓ **1991.** Lahesõda
  - Iraagi rakett tabab USA raketibaasi barakke ja tapab 28 sõjaväelast
  - *Põhjus:* ümardamisviga Patrioti radarisüsteemis (0,35 s, rakett läbis 0,5 km); raketi trajektoor arvutatakse valesti, arvuti ei oska jagada 10-ga (registris oli vaid 24 bitti)
- ✓ **1995.** Intel Pentiumi protsessor jääb vahele jagamisega
  - Jagamise algoritm kasutas tabelit, milles oli 1066 arvu. Tabeli laadimisprogrammis oli tsükliviga, mille tõttu kirjutati tabelisse 5 arvu vähem

Viie aastaga on kasvanud USA-s kahjum arvutivigadest **5 korda**, ulatudes praegu **60 miljardi dollarini** aastas

Eksimine on inimlik, aga et tõeliselt kõike ära rikkuda, on vaja arvutit

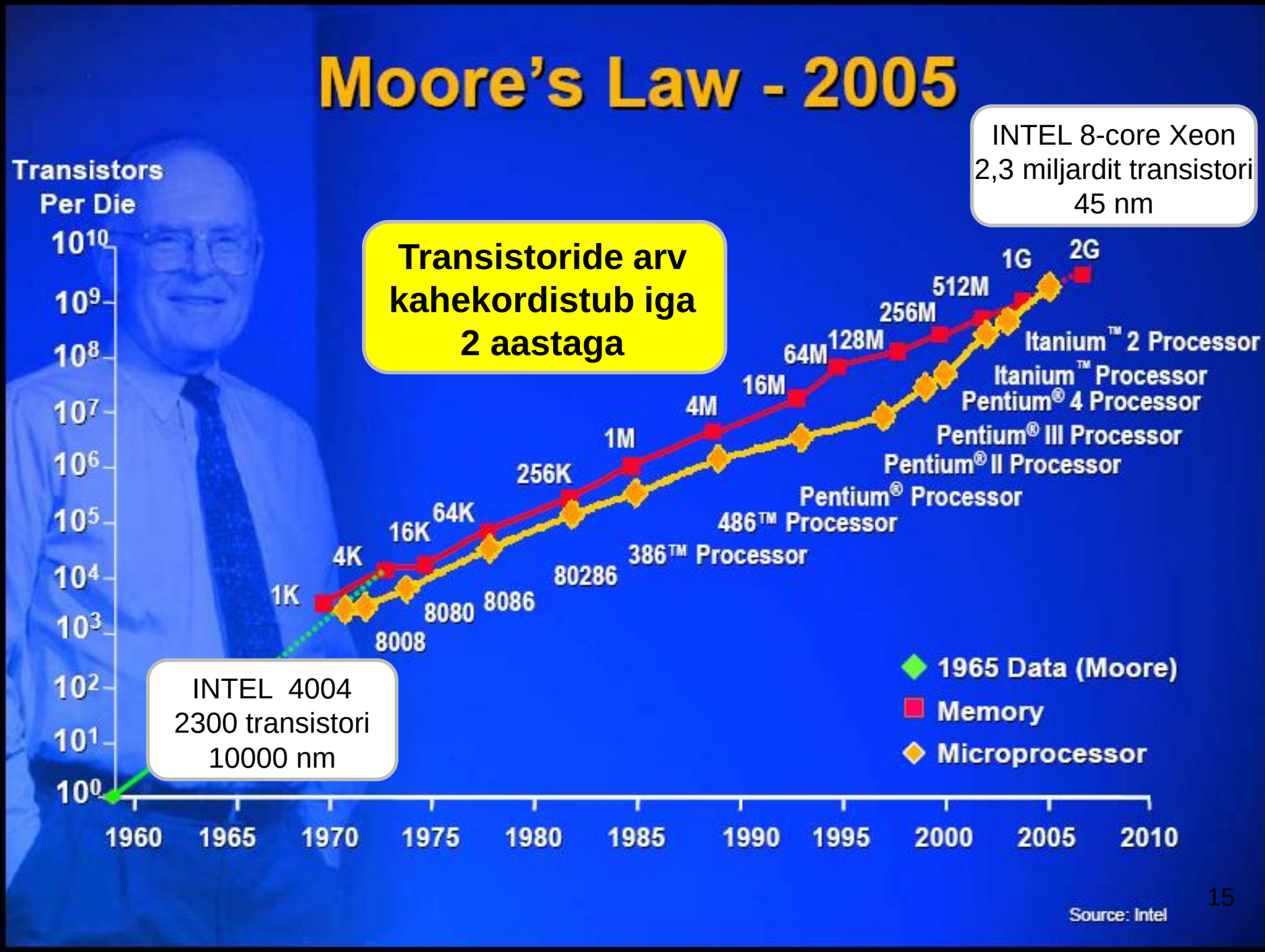
Arvutirikete mõju ulatub arvutist palju kaugemale

Rikked arvutites

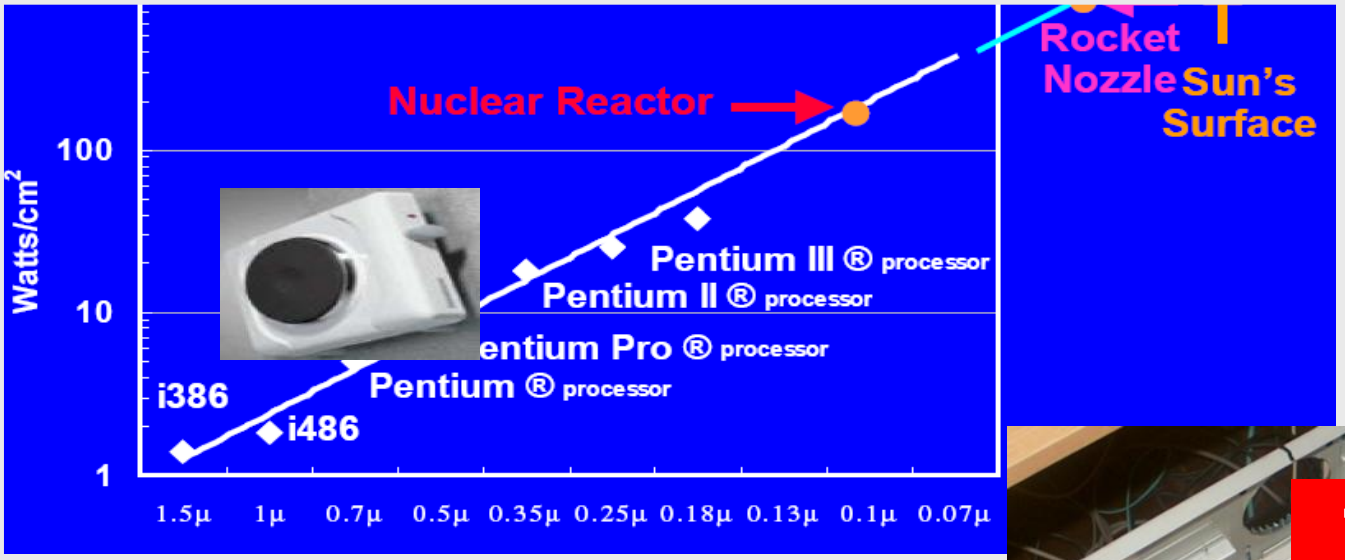


Zebo Peng, U Linköping

- ✓ Pidurisüsteemi rike Toyota autodes
  - Hetkeline süsteemi tundetus hüdraulika ja elektroonika ümberlülitamisel
  - 4,5 miljonit autot tagasi ostetud
  - Majanduslik kahjum 2 miljardit dollarit
  - Firma aktsiad kukkusid ühe päevaga 22%
- ✓ Kosmiliste kiirte mõju?
  - ✓ National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) uuringud seoses Toyota probleemiga

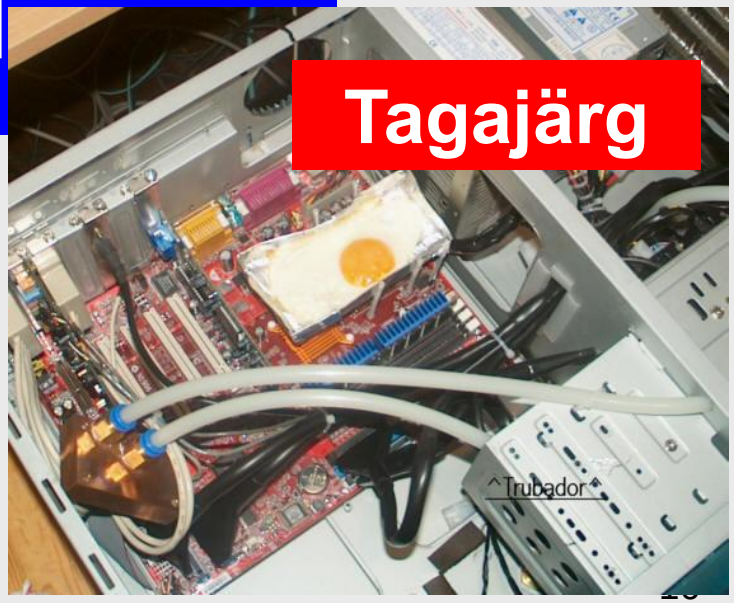

Moore's Law - 2005
INTEL 8-core Xeon
2,3 miljardit transistori
45 nm
Transistoride arv
kahekordistub iga
2 aastaga
Transistors
Per Die
10^10
10^9
10^8
10^7
10^6
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
1K
4K
16K
64K
256K
1M
4M
16M
64M
128M
256M
512M
1G
2G
8008
8080
8086
80286
386™ Processor
486™ Processor
Pentium® Processor
Pentium® II Processor
Pentium® III Processor
Pentium® 4 Processor
Itanium™ Processor
Itanium™ 2 Processor
INTEL 4004
2300 transistori
10000 nm
1965 Data (Moore)
Memory
Microprocessor
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
Source: Intel

Energiatihedus



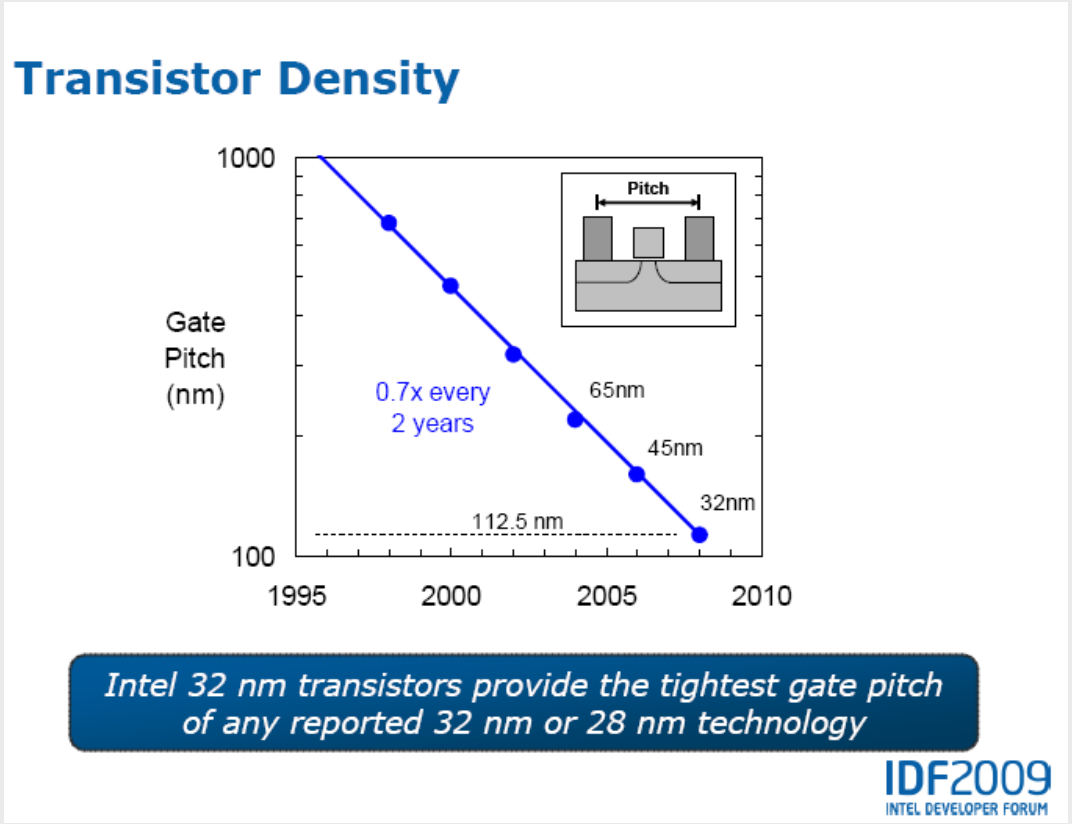
Source: Fred Pollack (Intel Corp.), Micro 32

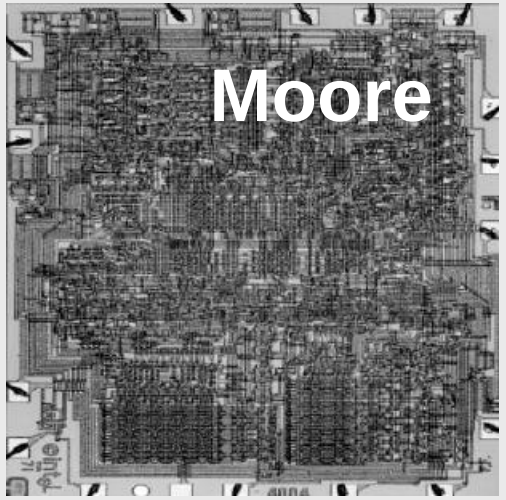
Töökiiruse ja energiatiheduse kasv viib temperatuuri kasvule kiipides



Moore^2 seadus

Intel 32 nm transistori suurus – 112 nm

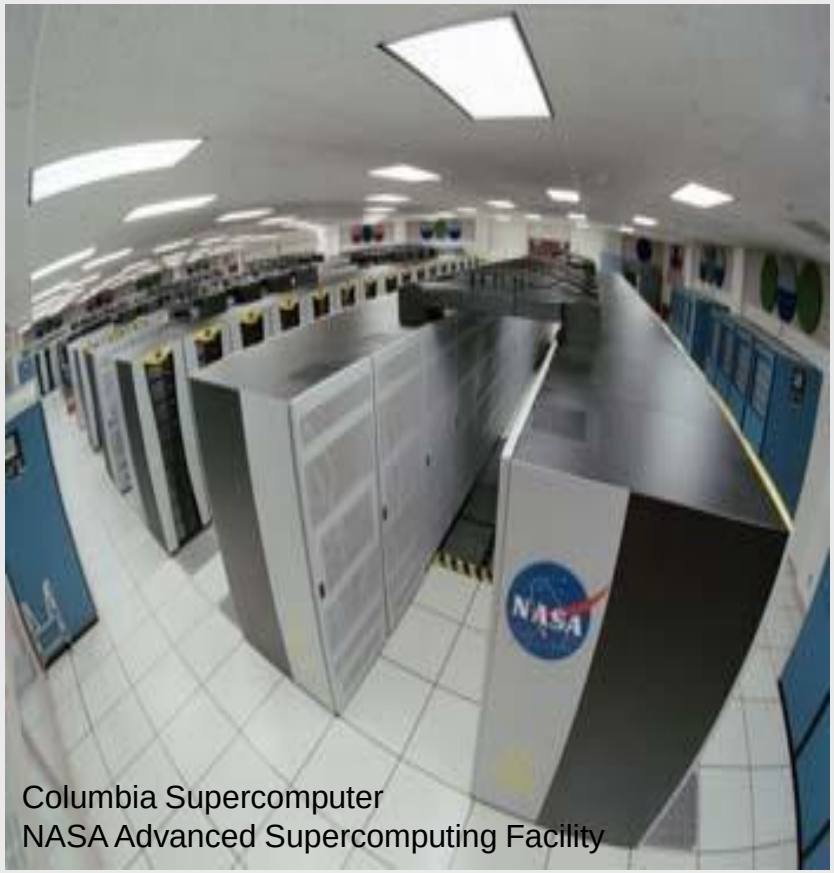




Moore^2 : tuumade arv kordistub 2 aastaga

Kui kaua kehtib veel Moore'i seadus?

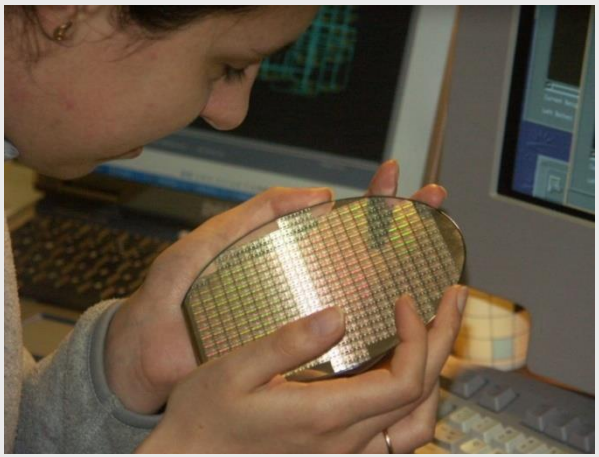
- ✓ Eksponentsiaalne innovatsiooni kasv on toimunud eeskätt tänu Moore'i seadusele
- ✓ Kui seadus lakkab toimimast, lakkab ka **innovatsiooni** senine kasv
- ✓ Kiipide töösagedus ei ole enam näitaja
- ✓ Tähtsam on jõudlus, mis sõltub **paralleelsuse** paradigmast
- ✓ Hiina uue superarvuti töökiirus on **2,5 petaflopsi** (14 tuh. Intel Xeon, 7 tuh. Nvidia Tesla GPU)



Columbia Supercomputer
NASA Advanced Supercomputing Facility

Protsessorite näitajaid - 2010

Tüüp	Sagedus	Trans. arv	Jõudlus
Tianhe 1A superarvuti			**2,5 PetaFlopsi**
AMD GPU			**2,7 TeraFlopsi**
IBM Power7 CPU			260 GigaFlopsi
Intel CPU	4,8 GHz		100 GigaFlopsi
NVIDIA GPU		**$3{,}0 \cdot 10^9$**	
ALTERA FPGA		$2{,}5 \cdot 10^9$	
Intel 8 Core XEON		$2{,}3 \cdot 10^9$	



Trendid ja mõjud

Rohkem transistore kiibile

Füüsikalised piirid (10 nm, 0,1 V)

Jätkuv transistoride mõõdete kahanemine

Energiatihedus kasvab

Keerukus kasvab

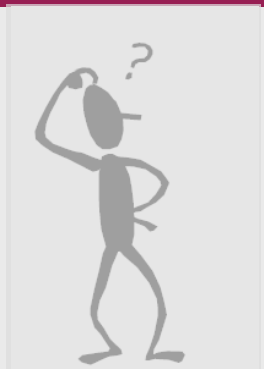
Transistori hind kahaneb

Kiirus kasvab

Viited ühendustel

Rohkem võimalusi

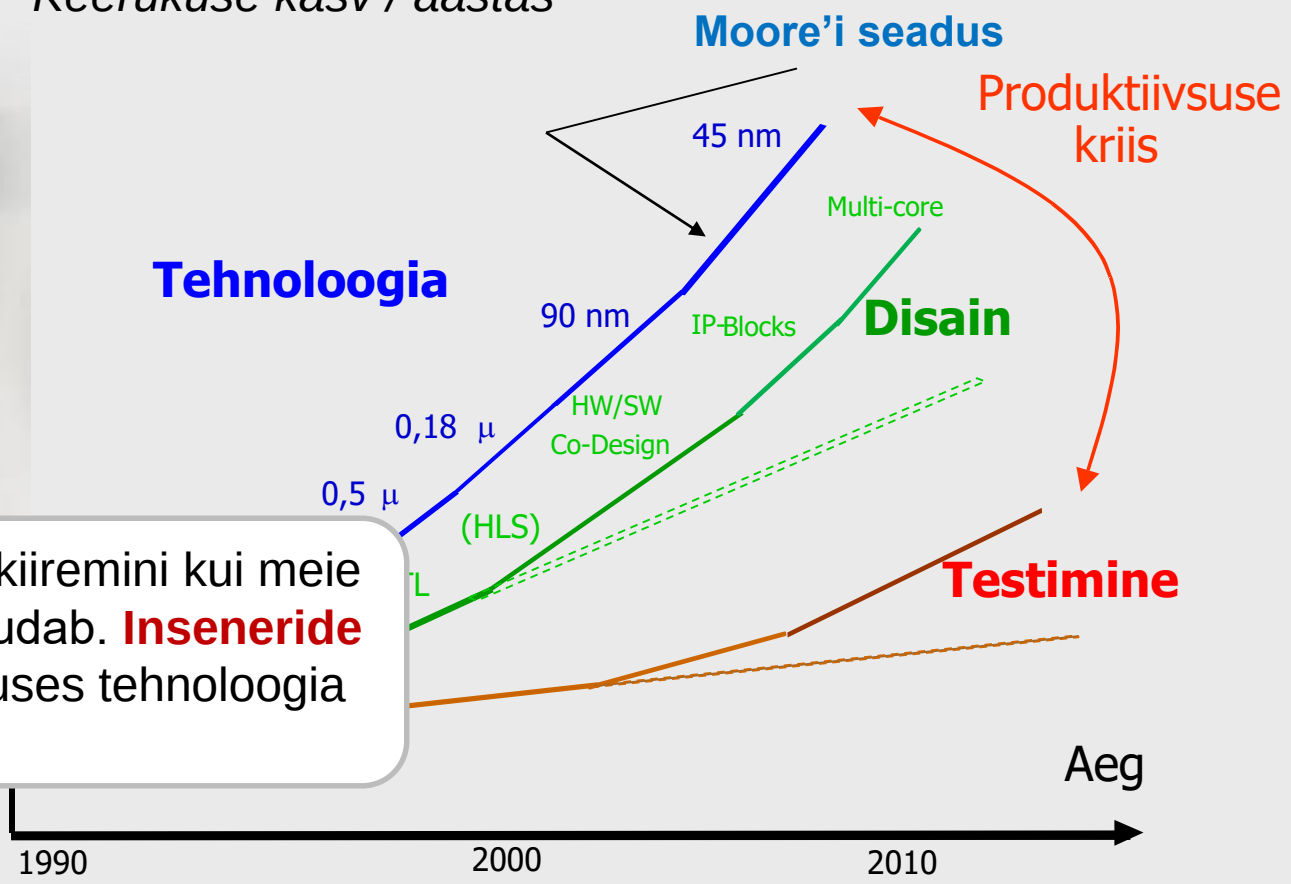
Probleemid disainile ja töökindlusele



Tehnoloogia on kaugel ees

Produktiivsuse kriis

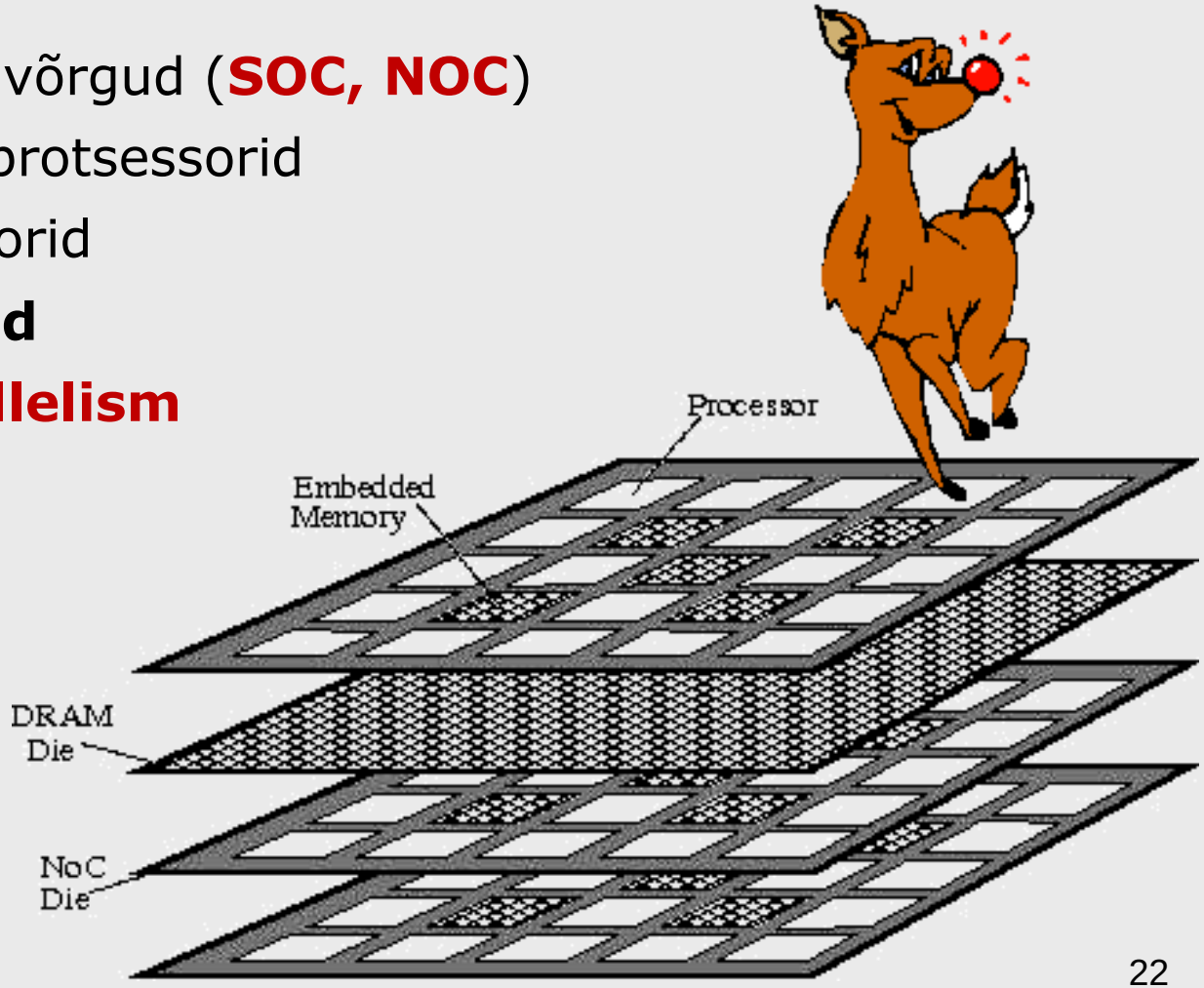
50% - *Keerukuse kasv / aastas*



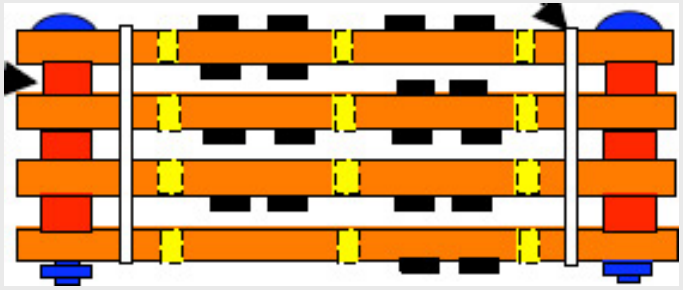
Tehnoloogia areneb kiiremini kui meie kultuur vastu võtta suudab. **Inseneride võimed** ei ole vastavuses tehnoloogia võimalustega

Uued paradigmad

- Kiipsüsteemid ja võrgud (**SOC, NOC**)
- Multituumalised protsessorid
- Graafikaprotsessorid
- **3D arhitektuurid**
- **Massiivne parallelism**



3-D kihilised arhitektuurid



Krish Chakrabarty, Duke U, USA

Vertikaalne integratsioon ei ole uus idee

Võib taotleda ka heterogeensust

Kui Maa peal ei ole enam ruumi, siis tulebki suunduda üles

Automatiseeritud design

- Protsessorid ja tarkvara tagavad põhifunktsionaalsuse **CAD:** Synopsys, Mentor Graphic, Cadence
- **ASIC:** kallid eriotstarbelised kiibid leiavad edaspidi rakendust vaid ülikiiretes seadmetes ja masstootmises

- **FPGA:** programmeeritavad kiibid leiavad üha universaalsema rakenduse
- Projekteerimisvahendid standardiseeruvad üha rohkem: MatLab – **SystemC - VHDL**

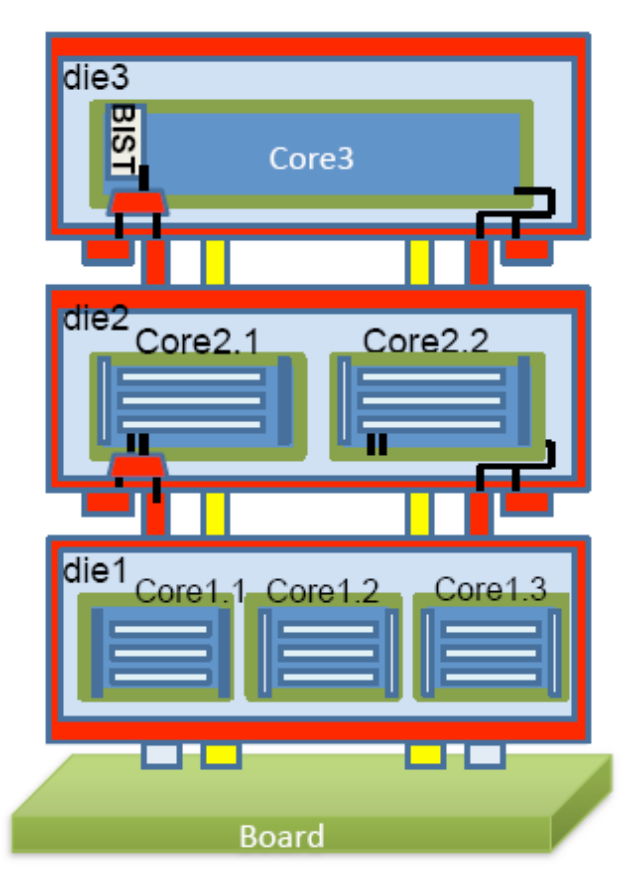
theisleofwightcomputergeek.co.uk

- Kõik oleks tõesti tore, kui puuduks tülikas probleem nagu **defektid** aparatuuris, **vead** tarkvaras, **tõrked** ja **häired**väliskeskonna mõjudest ning **viirused** ja **troojad**

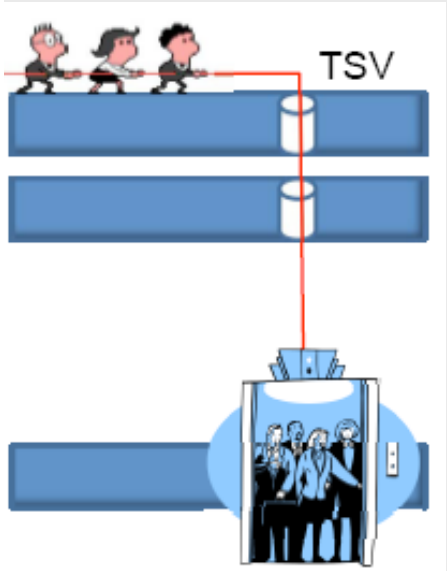
3-D multi-tuum arhitektuurid

Testprogrammide pikkust oleks vaja vähendada

Riketele on raske ligi pääseda – koridorid on pikad, uksed käivad raskelt, liftid on ülekoormatud



Krish Chakrabarty, Duke U, USA



Animation: Yasuo Sato, KIT, Japan

jetpilot.dk

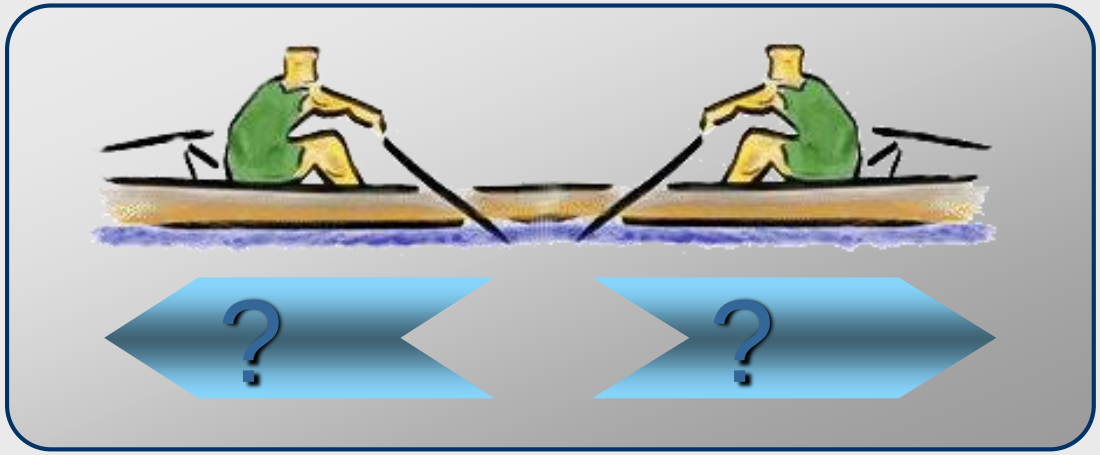
Disaineri ja testija koostööst

Disainer testijale:

- ✓ Kontrolli, kas kõik mu projekteeritud funktsioonid töötavad

Testija vastus:

- ✓ Projekteeri disain ümber selliselt, et testimine oleks üldse võimalik

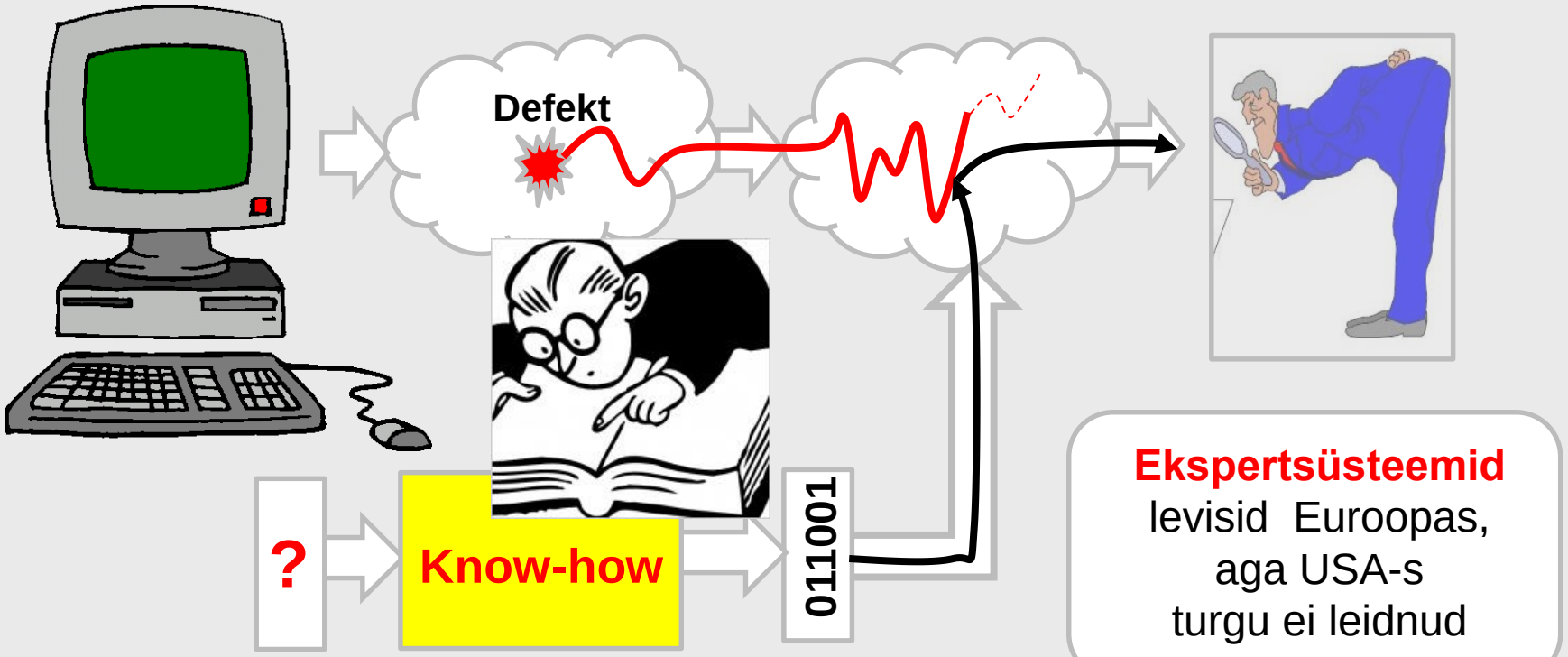


H.-J. Wunderlich, U Stuttgart

Paradigma muutus: ***Design for testability***

Omaette jäetud testija

Testi süntees rikke avastamiseks

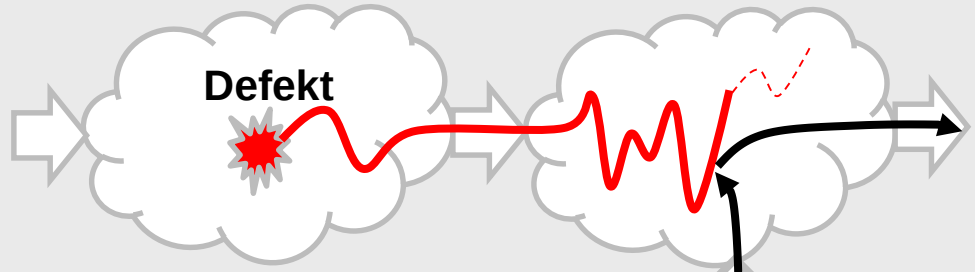


Ekspertsüsteemid
levisid Euroopas,
aga USA-s
turgu ei leidnud

Ekspertsüsteemi appivõtmine

Disaineri ja testija koostööst

Testi süntees rikke avastamiseks



?

Tülikas skeemi osa

011001

Uus paradigma
ScanPath Design

011001

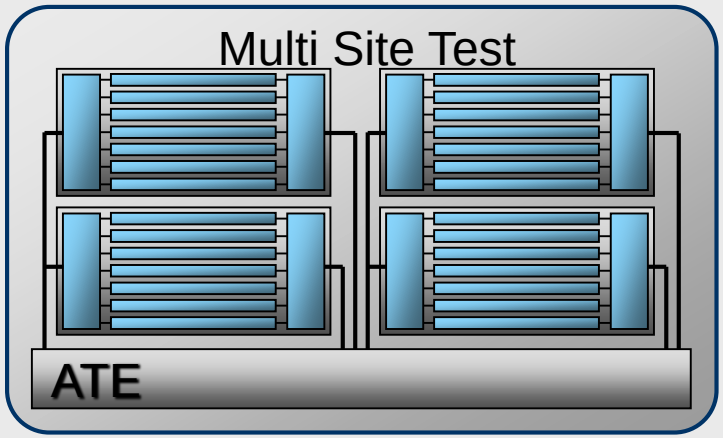
mindmappingsoftwareblog.com

Alexander cuts the Gordian Knot

Jean-Simon Berthélemy (1743–1811)

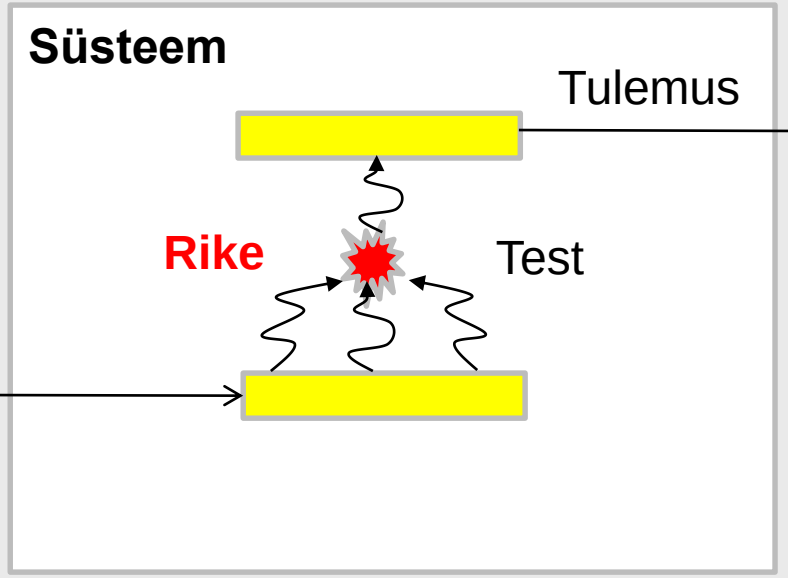
Disaineri ja testija koostööst

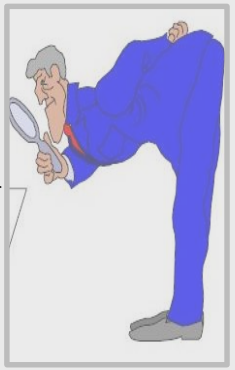
Kuidas testida koostöös sadat miljonit transistori



H.-J.Wunderlich, U Stuttgart

Kõik **mäluelemendid** (trigerid) tehakse testimise eesmärgil **“transparentseks”** nihkeregistrite abil





Mis asi on test?

Test-programm

12 + 10 = ?

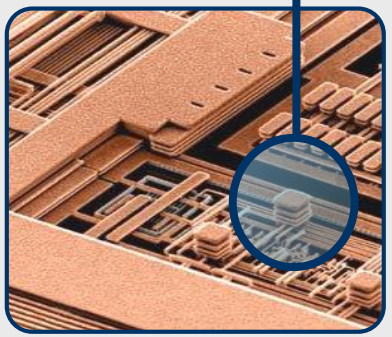
Protsessor

22

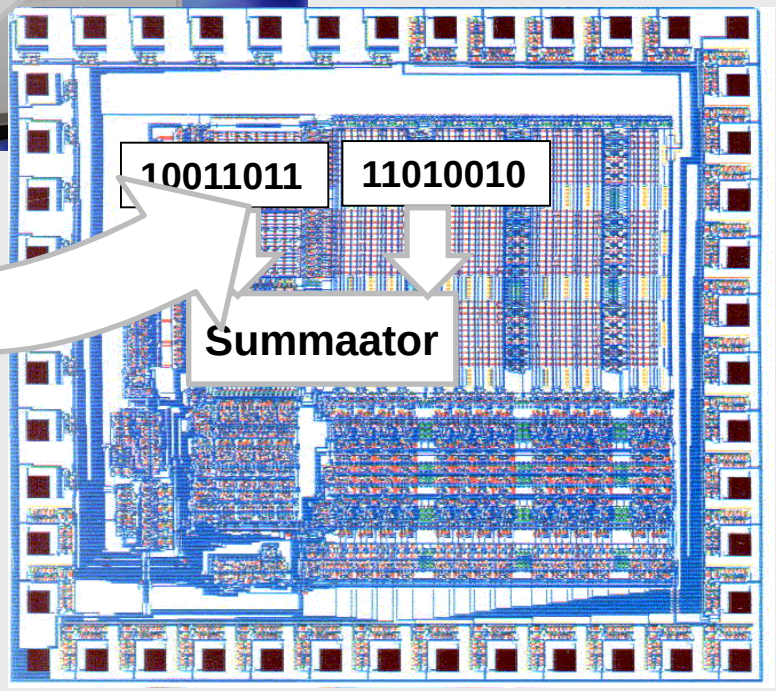
Testi tulemused

Mitme operandiga peaks testima summaatorit, et veenduda selle korrasolekus?

Diagnoos



Summaatori testimine?



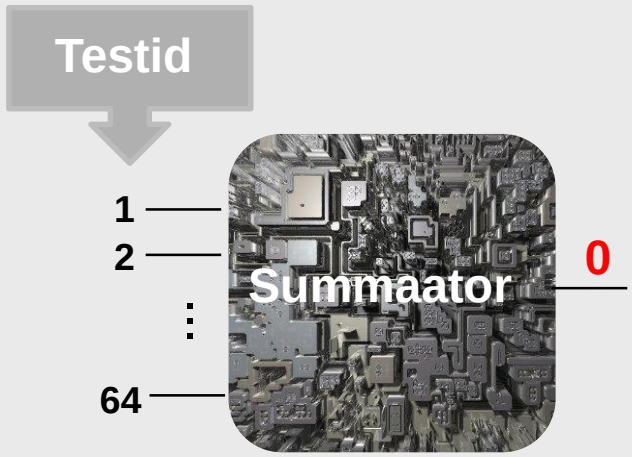
32 bitisel summaatoril on 64 sisendit
Kõigi võimalike ombinatsioonide arv on
2^{64} = 18 446 744 073 709 551 616 ≈ 10^{19}

1 GHz protsessoriga kuluks
2^{64} = 18 446 700 000 ≈ 10^{10} sek
ehk **584** aastat

Mikroprotsessori testimiseks tehase konveieril aga antakse aega vaid **10** sek

Kuidas jääb siis lugu testimise kvaliteediga?

Achilleus, kilpkonn ja digitaalsüsteemi test



Summaatori tõeväärtustabel:

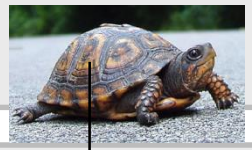
Testid	Funktsioonid
00…000	01 0 1 0 1…101
00…001	00 1 1 1 0…011
00…010	00 1 0 0 1…101
…	…
11…111	00 0 0 0 0…111

2^{64}

50% testitud

Esimene test

Õige tulemus

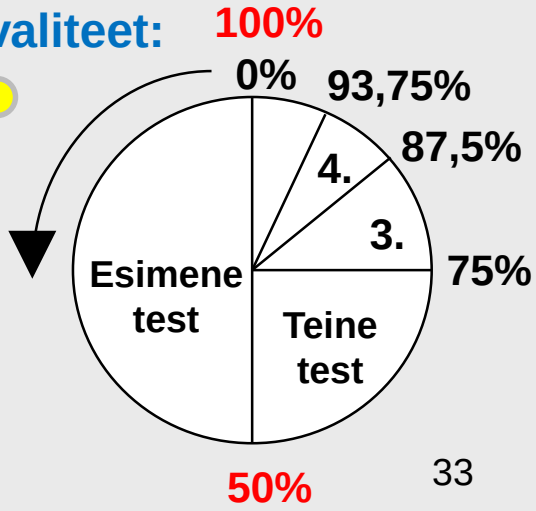


Start

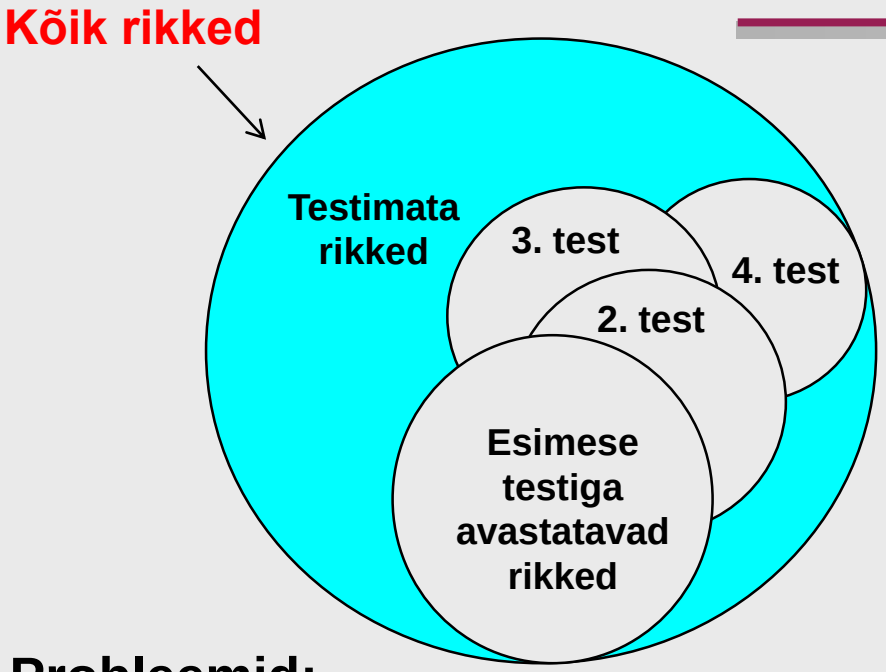
Poolel teel

Kilpkonn ja 100%-line test on kättesaamatud mõlemad

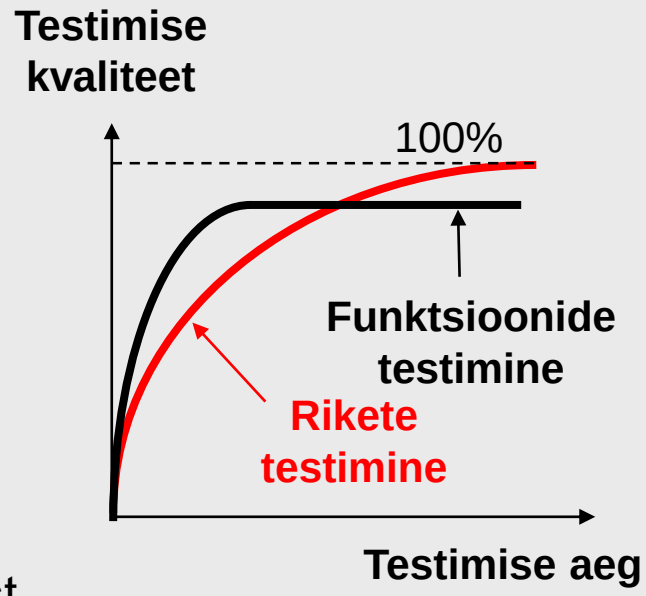
Testimise kvaliteet:



Struktuurne rikete-põhine testimine



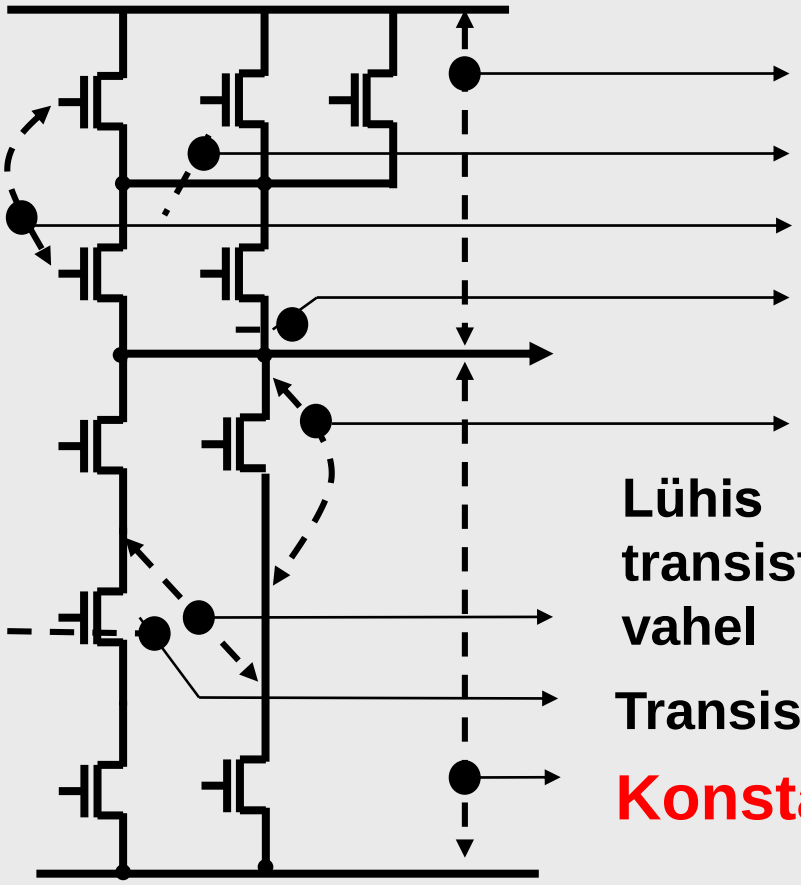
100%-line testimise kvaliteet saavutatakse, kui kõik rikked antud nimistust on kaetud



Probleemid:

- Rikete loetelu on raske koostada, eri rikkemudelite hulk on väga suur
- Rikete mudeli tööstuslik standart on **konstantrike**, kuid see on puudulik
- Kordsed rikked võivad maskeerida ükstreist
- Lahendamata probleem on: **riistvara Troojad**

Kuidas koostada rikete hulka?



Konstant-1

Juhe on katki

Lühis juhtmete vahel

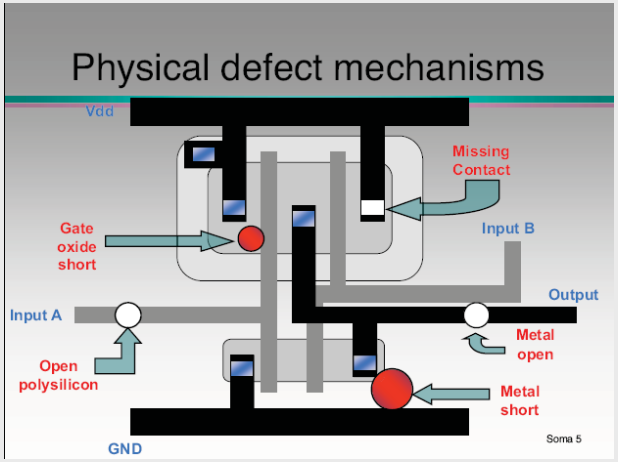
Juhe “ripub õhus”

Transistori lühis

Lühis transistoride vahel

Transistor on katki

Konstant-0

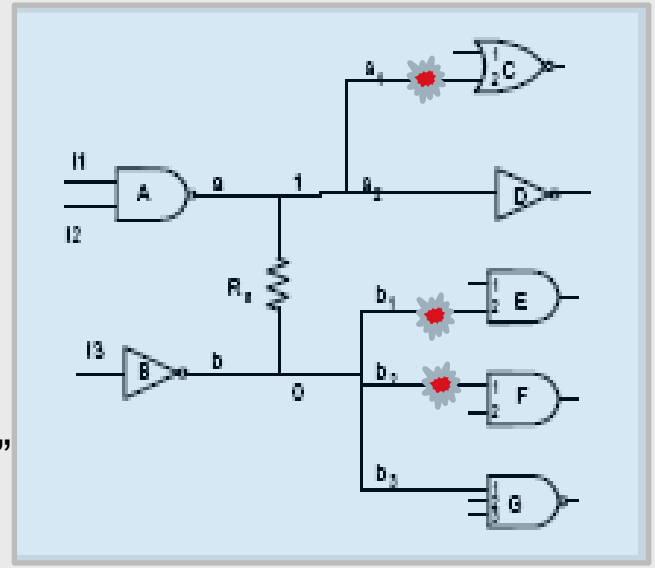


© Mani Soma

Keerulisemad rikke mudeli üldistused

Rike on **ebamäärane** ja deterministlikult mitte enam kirjeldatav

Takistuslik lühis



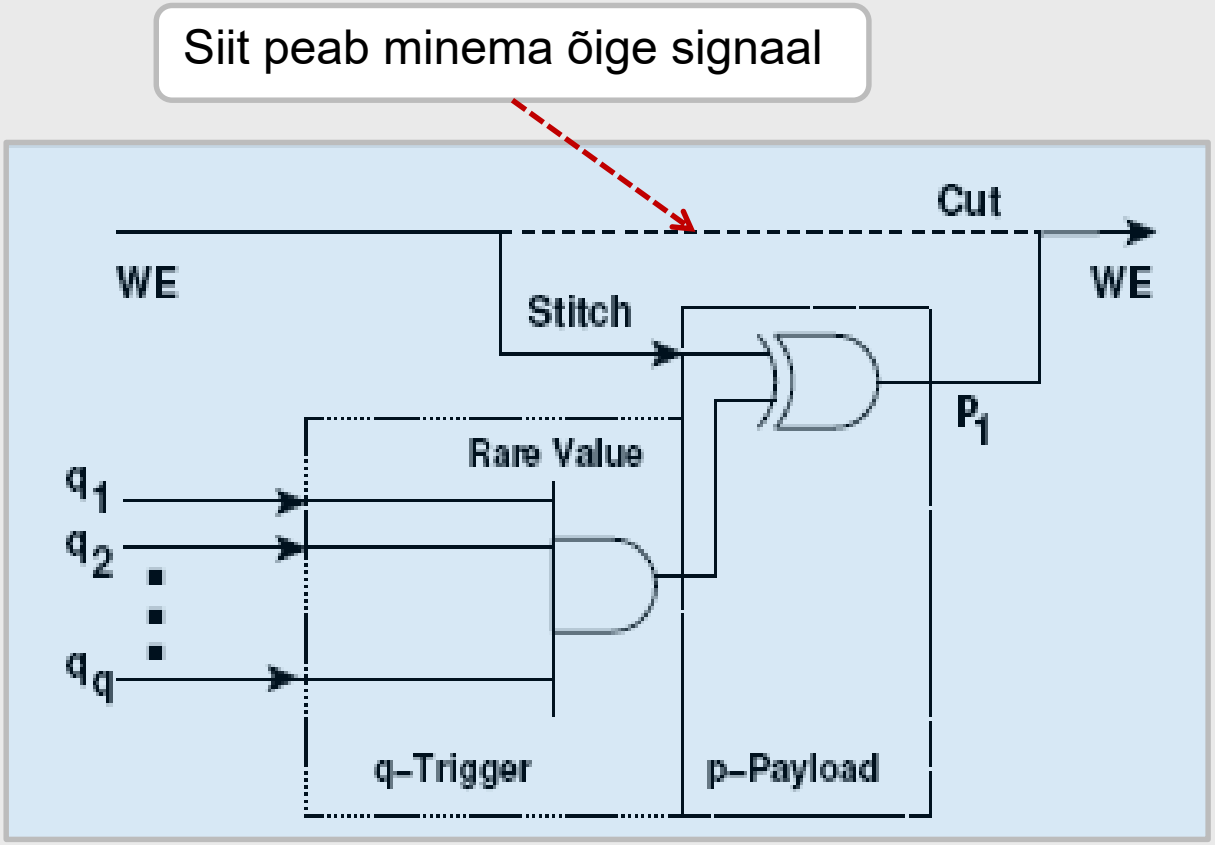
Tingimuslik rike
konstantrike loogika-kitsendusega
Üks rikkesignaal

X-rikke mudel
Byzantine'i rike
Lühised
"Rippuvad ühendused"
Palju rikkesignaale

Riistvara Troojad

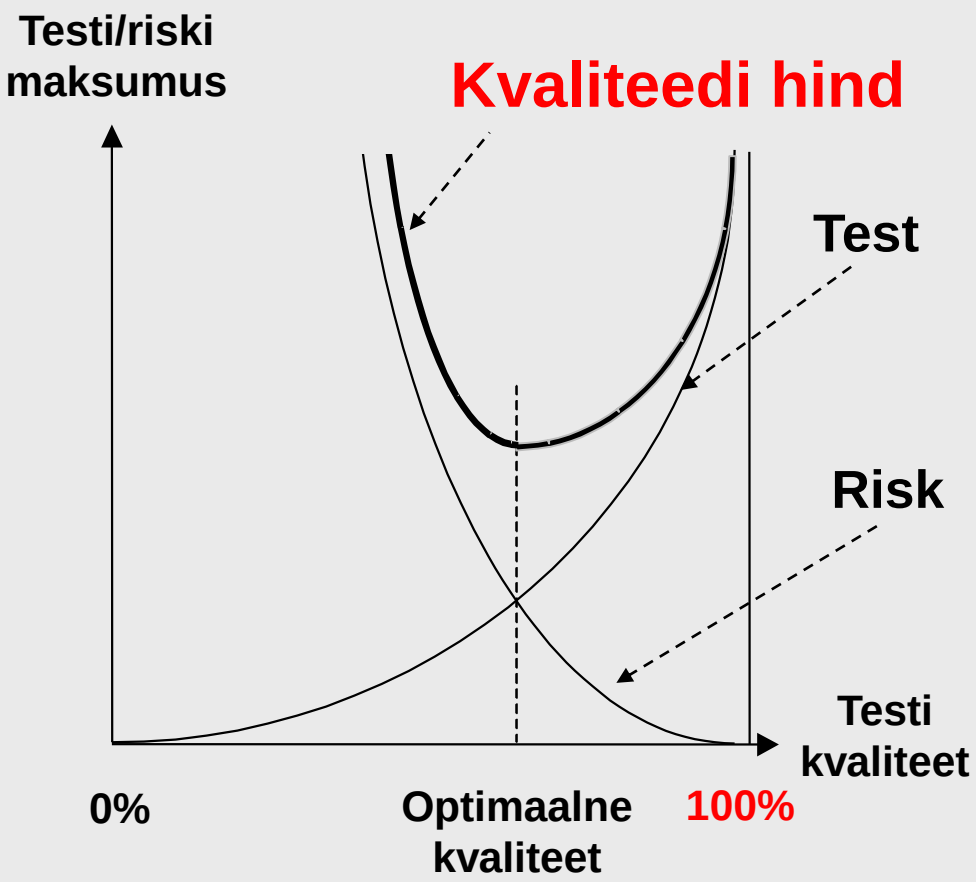
"Trooja hobune" istutatakse skeemi integraalskeemide tootmisprotsessis, kusjuures ta aktiveerub väga harva esineva oleku või mingi ajalise sündmuse puhul.

Trooja aktiveerumise korral võidakse moonutada või hävitada andmeid, edastada näiteks raadio teel salajast infot või hävitada kogu kiip.

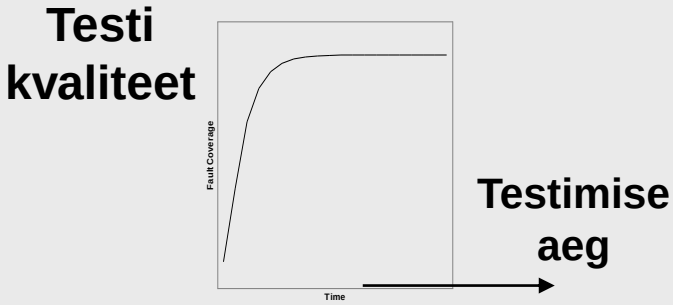


© F.Wolf, Ch. Papachristou, S.Bhunia, R.S.Chakraborty 2008

Kui palju on vaja testida?



How to succeed?
Try too hard!
How to fail?
Try too hard!
(From American Wisdom)

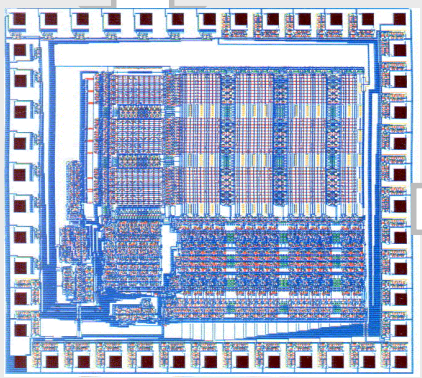


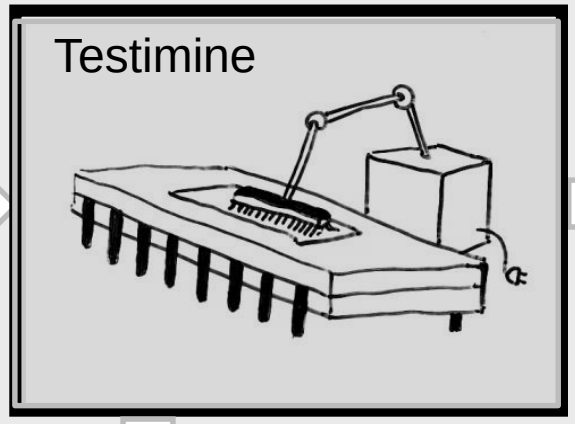
"The problem of testing can only be contained not solved"
T.Williams

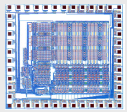
Kvaliteedi poliitika

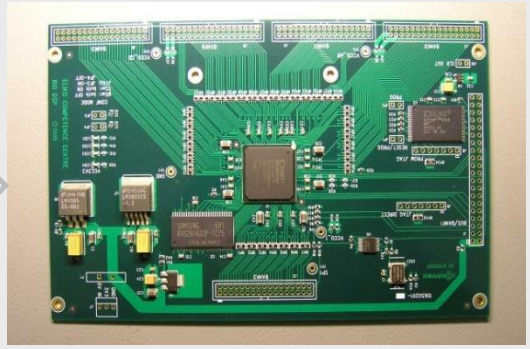
Kiibid tootmisest

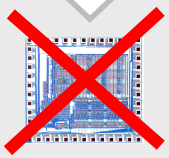
Saagis $Y = (1-P)^n$ Näiteks 60%, ülejäänud on on vigased kiibid











Plaadile mineva kiibi kvaliteet - *DL* **(defekti tase)**
Mitu vigast protsessorit sajast "poeb" läbi?

n **- Rikete hulk**
P **- Rikke tõenäosus**

m **- Testitud rikete hulk**
T **- Testi kvaliteet (rikete kate)**
P_a **- Vigase toote aktsepteerimise tõenäosus** $P_a = (1-P)^m - (1-P)^n$

$$DL = \frac{P_a}{(1-P)^n + P_a} = 1-(1-P)^{n-m} = 1-Y^{\frac{n-m}{n}} = 1-Y^{(1-\frac{m}{n})} = 1-Y^{(1-T)}$$

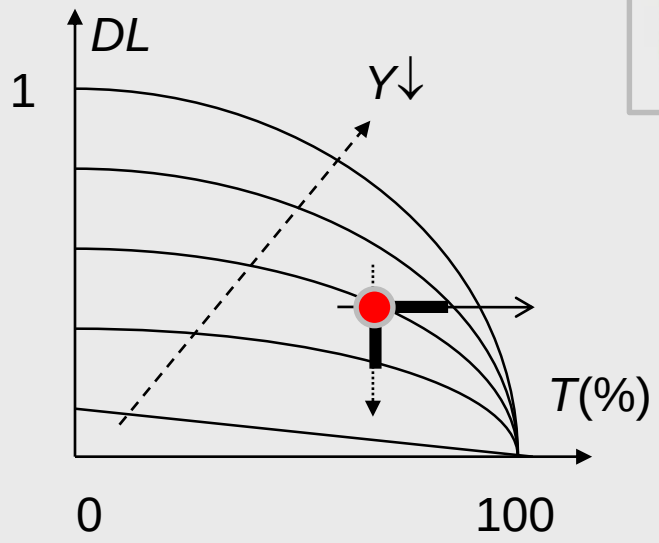
Kvaliteedi poliitika

Testi kvaliteet

Saagis

Defektide tase:

$$DL = 1 - Y^{(1-T)}$$



Testimata kiibi kvaliteet (saagis)

Testitud kiibi kvaliteet

DL

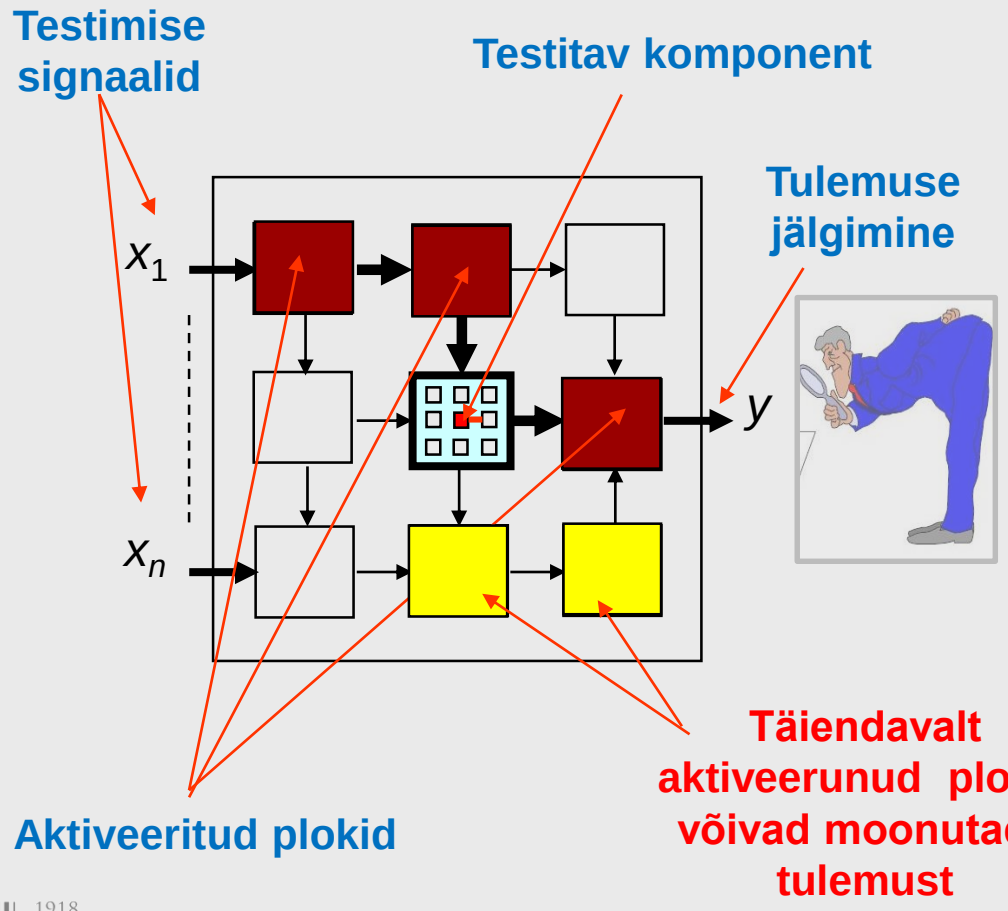
Y(%)	10	50	90
90	8	5	1
50	45	25	5
10	81	45	9

T(%)

Testide kvaliteet

Struktuurse testimise probleemid

Keeruka süsteemi testimine:



Näide:

32-bitine summaator

Funktsionaalne test:

$2^{64} = 10^{19}$ testvektorit

Struktuurne test:

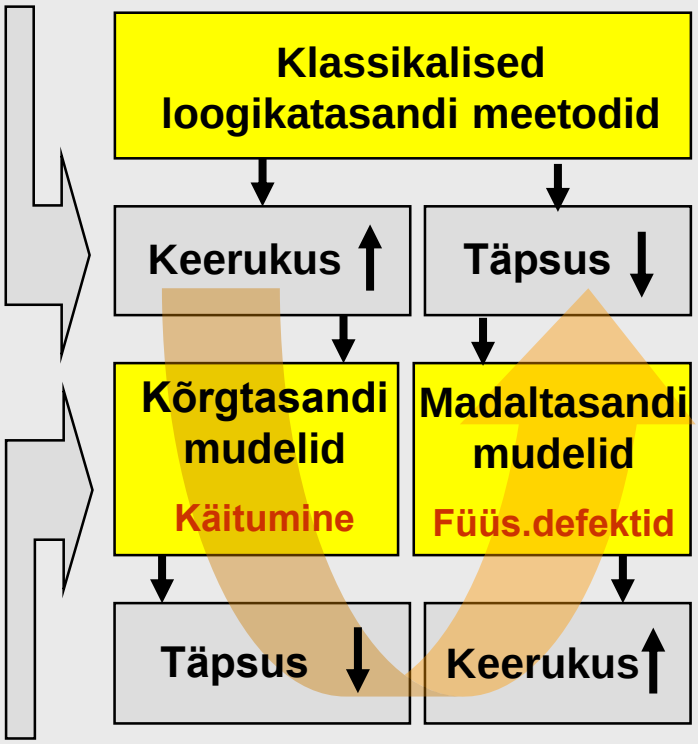
Kokku ca 2000 riket

Testvektorite arv

N << 2000 << 10^{19}

Keerukus vs. täpsus

Probleemid



Võimalikud lahendused

Traditsioonilised **funktsionaalsed mudelid** kaotavad oma jõu süsteemide ***keerukuse*** kasvu tõttu

Traditsioonilised **rikete mudelid** ei suuda garanteerida piisavat testimise ***täpsust*** üha uuenevate nanotehnoloogiate ilmumisel

Väljapääs:
Hierarhilised lähenemisviisid
Uued rikke mudelid

Uurimistööst Tehnikaülikoolis

Klassikaline Boole'i algebra

Graafiteooria

Loogika tase

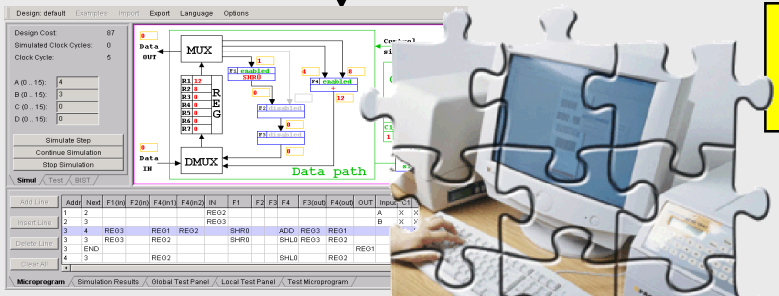
Kõrgtase

Otsustus diagrammide mudelid

Rikete mudelid

Rakendused

Meetodid ja algoritmid

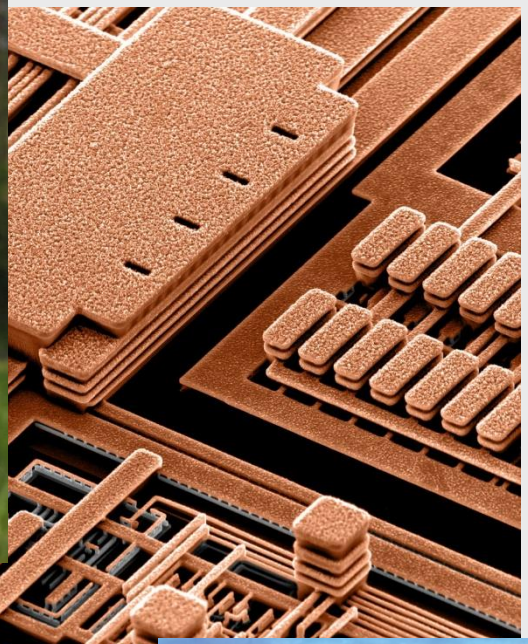


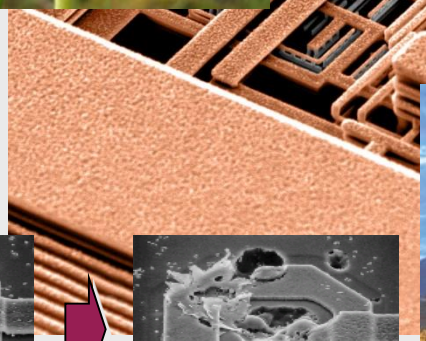
Testide analüüs

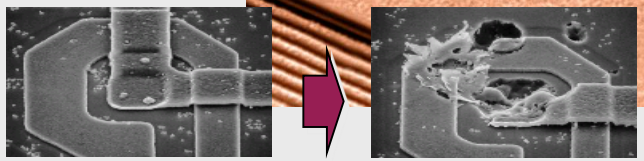
Testide süntees

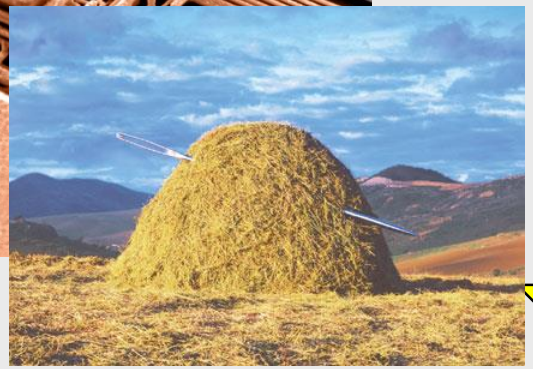
Süsteemide enese-testimine

Modelleerimise hierarhiast





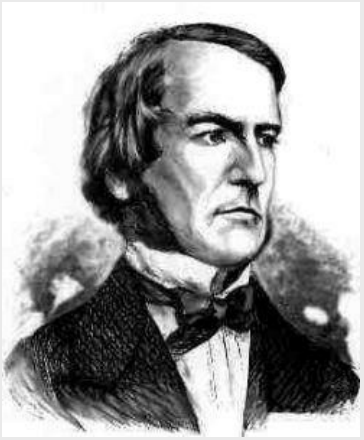




Soovitava süsteemi spetsifikatsioon

H.-J.Wunderlich, U Stuttgart

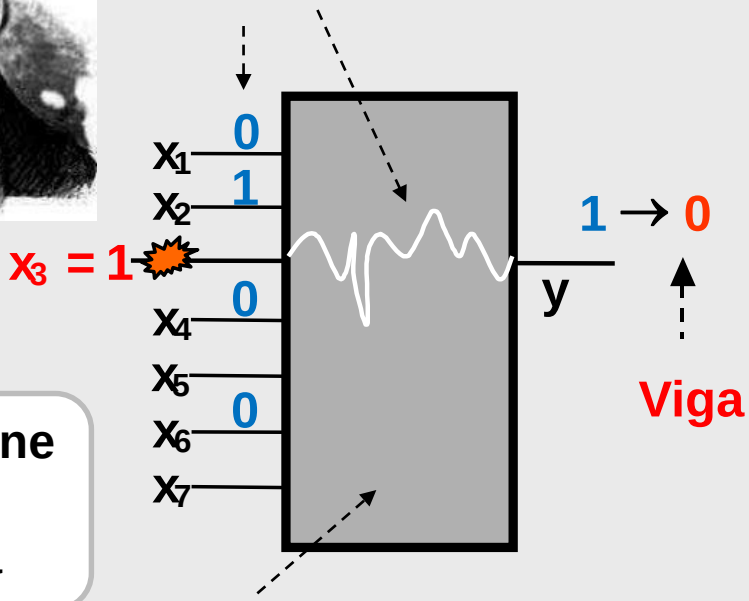
George Boole (1815 - 1864)



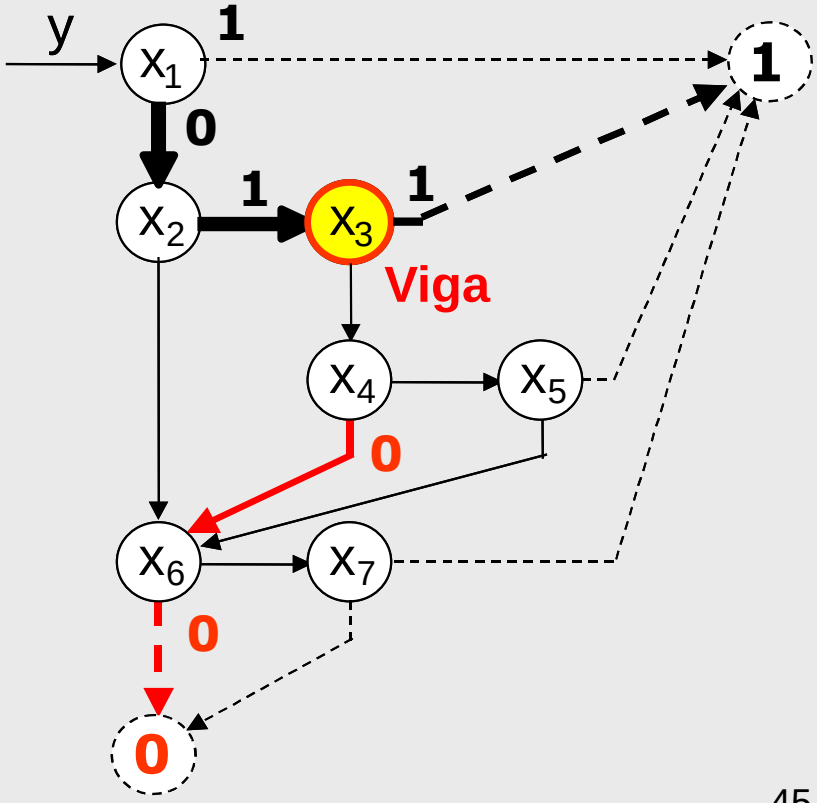
hubpages.com

Graafid ja loogikaskeemid

Signaali tee aktiveerimine läbi skeemi



Sama probleemi lahendamine graafiteooria abil:
otsustusdiagrammid



Klassikaline Boole'i algebra

$$y = x_1 \vee x_2 (x_3 \vee x_4 x_5) \vee x_6 x_7$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_3} = \overline{x_1 \vee x_6 x_7 x_2 \overline{x_4 x_5}} = 1$$

Otsustusdiagammide (BDD) ajalugu

1959 – **Lee C.Y.** – Binaarsed programmid

1974 – Diplomitöö, TTÜ (**Vaher/Ubar**) – Boole'i funktsioonide arvutamiseks

1976 – **Ubar R**. – **Alternatiivsed graafid** (**esmakordselt** diagnostika valdkonda)

1978 **– Akers S.B.** – **Binaarsed otsustusdiagrammid – BDD**

1881 – **Esimene** BDD-põhine testide generaator (**KÜBI/TTÜ koostöö**)

1983 – **Ubar R**. – BDD üldistamine **esmakordselt** kõrgtasandile mikroprotsessorite testprogrammide sünteesiks (tippkonverents Milaanos)

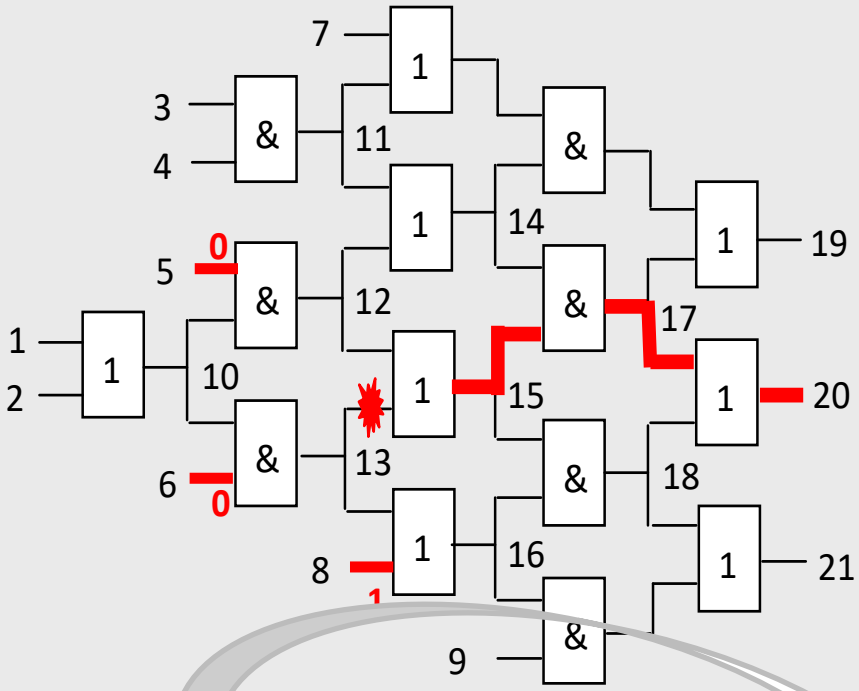
1986 – **Bryant R.E.** – BDD kanoonilise mudelina – **algas BDD ajastu**

1990 – Esimene BDD programmide pakett (Bryant)

TTÜ panus arvutiteadusse:
Struktuurne BDD – erinevalt klassikalisest BDD-st võimaldab see mudel esitada digitaalskeemi struktuurseid omadusi
Kõrgtaseme DD – võimaldab südteemide diagnostilist modelleerimist kõrgel käitumuslikul tasandil

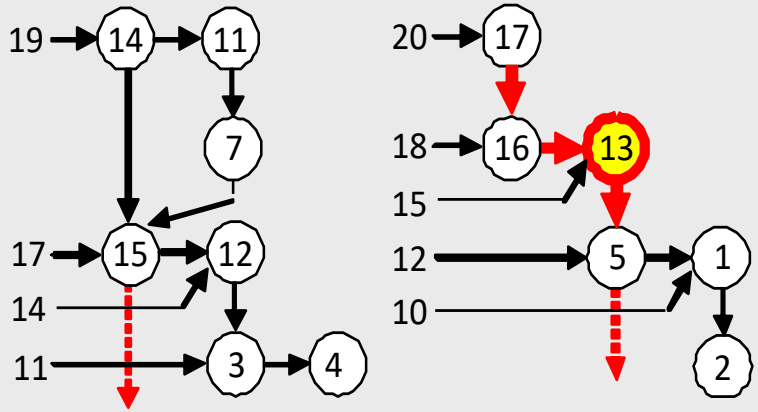
Uut tüüpi graafid

Klassikaline mudel:
Loogikaskeem

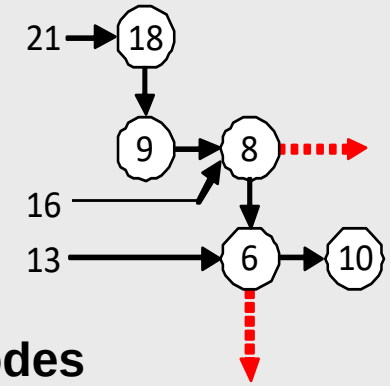


Klassikaline rikkemudel:
84 riket 42 ühendusel

Uus TTÜ mudel:
Struktuursed otsustusdiagrammid



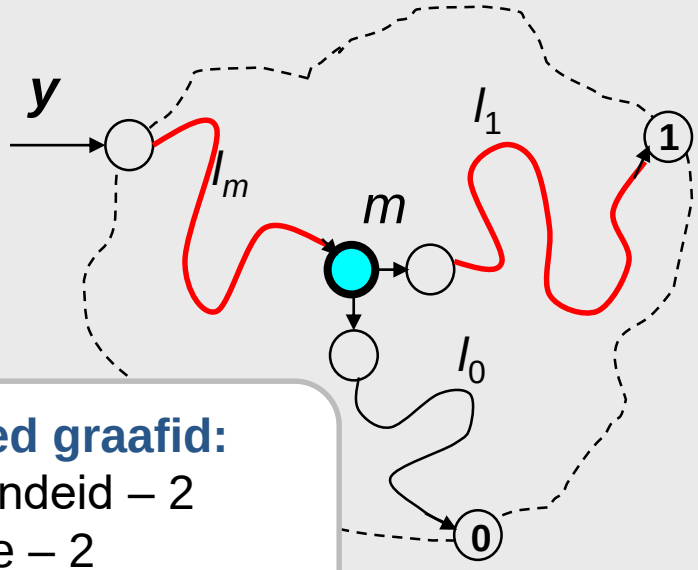
2,3 x võitu



Uus rikkemudel:
36 faults on 18 nodes

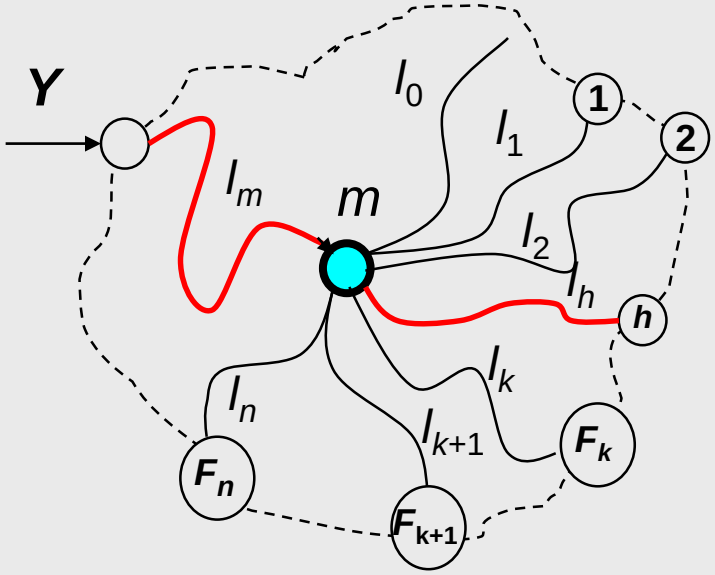
Graafide üldistamine

Loogikaskeemi graaf



Binaarsed graafid:
Tipuväljundeid – 2
Terminale – 2
Terminalides konstandid

Diagnostiline modelleerimine digitaalsüsteemidel

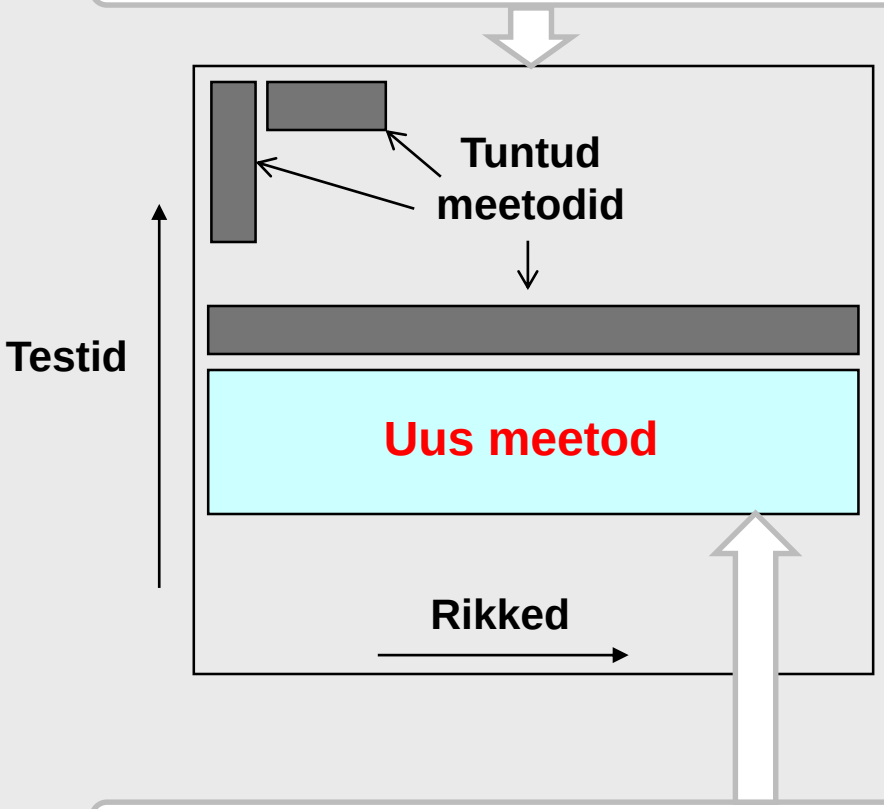


Uuendus: **Boole'i meetodite laiendus graafiteooria abil kõrgematele funktsionaalsetele tasanditele**

Kõrgtasandi graafid:
Tipuväljundeid ≥ 2
Terminale ≥ 2
Terminalides funktsioonid

Uut tüüpi rikete simuleerimise meetod

Eesmärk: Genereerida rikete tabel



Kasutatakse TTÜ struktuurigraafe

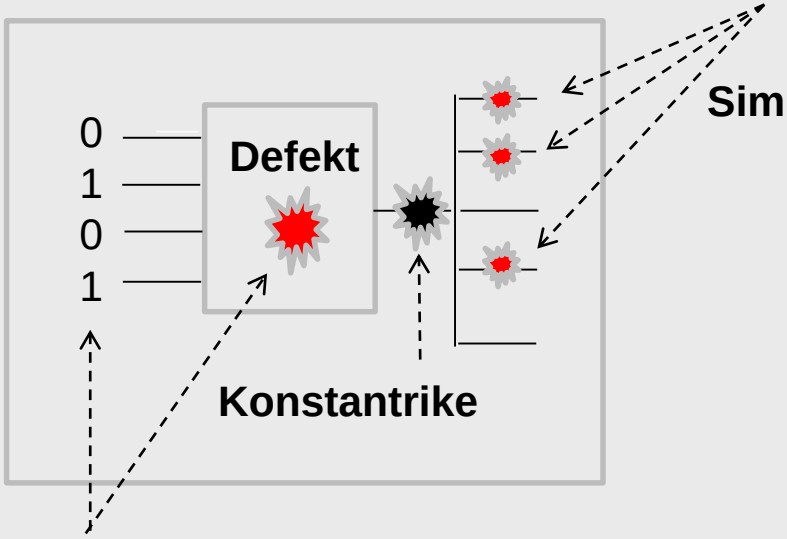
TTÜ meetod võimaldab suurendada simuleerimiskiirust võrreldes professionaalsete süsteemidega **Mentor Graphics** ja **Synopsys** keskmiselt **3-9 korda**

Uudne sünergia:
(1) **Analüütilisus**
(2) **Paralleelsus**

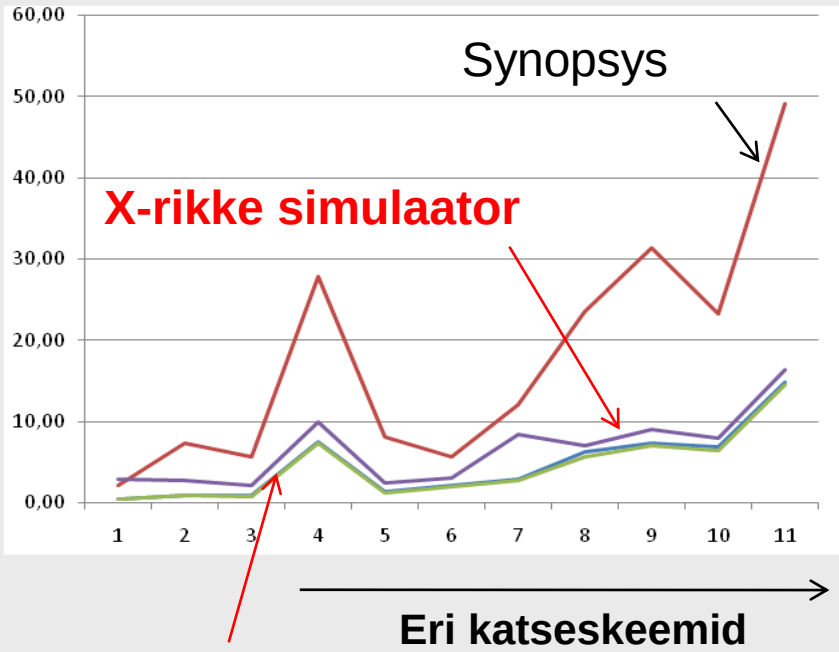
Praktiline tähtsus suur – palju kasutusvõimalusi:
disain, verifitseerimine
testide süntees
testide kvaliteedi analüüs
rikete diagnoos
süsteemide usaldatavuss

Uued defektide analüüsi meetodid

Määramatu (Byzantine'i) rike, X-rikke mudel



Simuleerimise aeg



DOT – Hierarhiline testide generaator
Võimaldas esmakordselt
tõestada defektide liiasust (mitteolulisust)

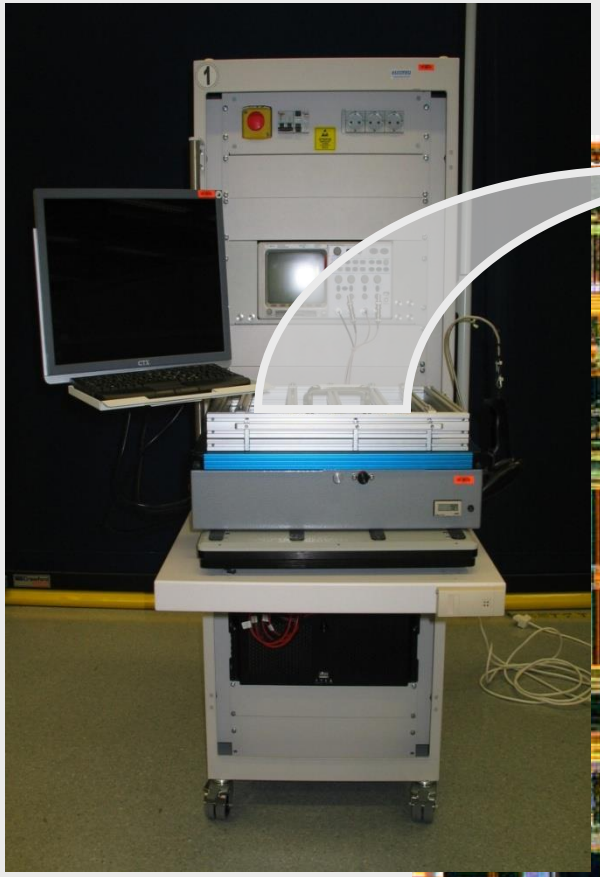
Konstantrikke simulaator,
DOT – defektide simulaator

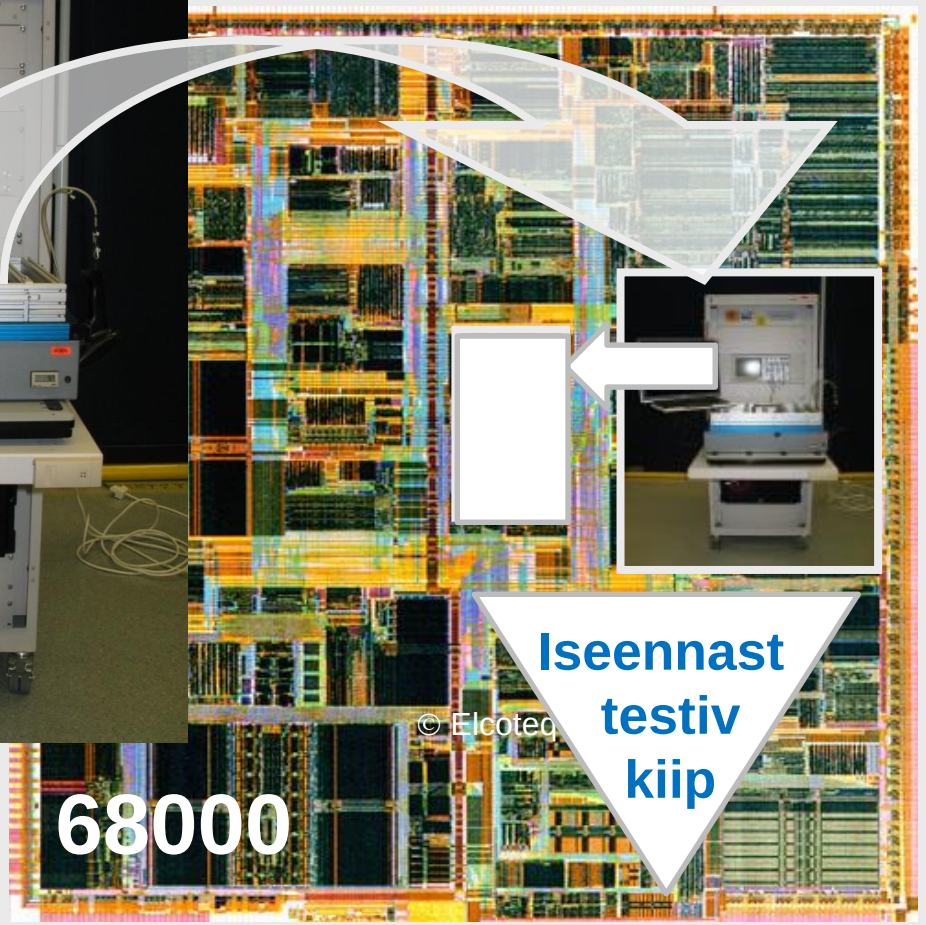
Kiipsüsteemide enesetestimine

- Välised testrid on väga kallid
- Ja nad on alati aeglasemad kui testitav kiip

- **Kas poleks võimalik panna kiipe ise ennast testima**

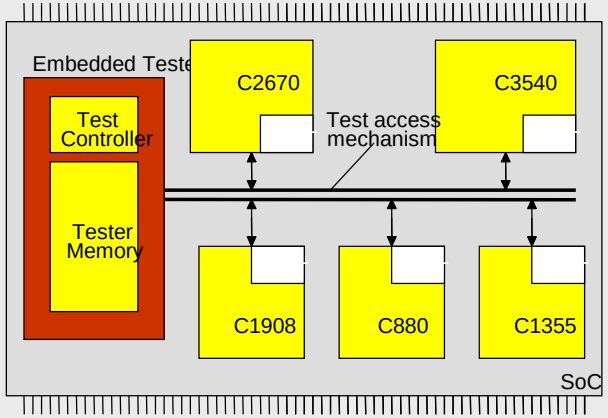
scienceblogs.com

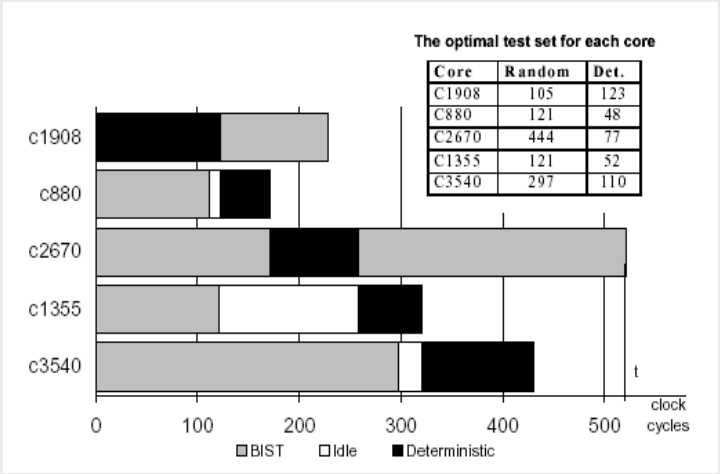


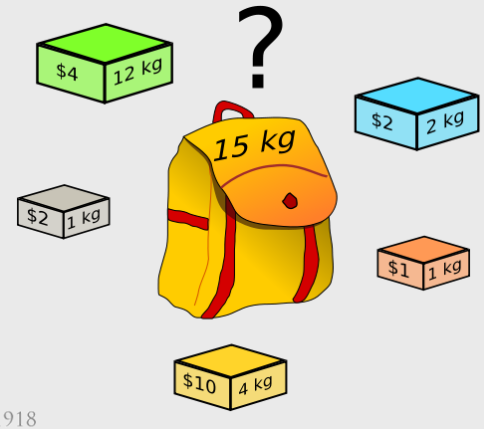


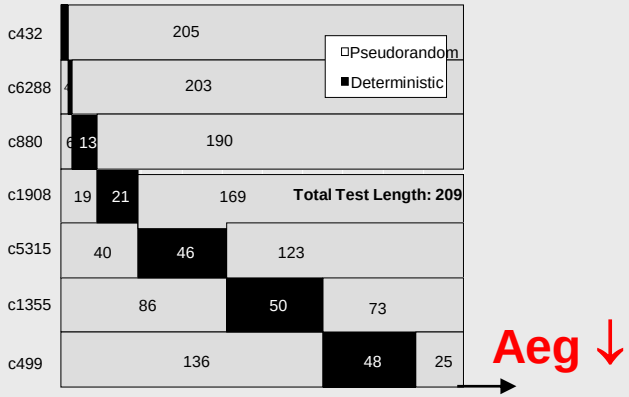
Enesetesti optimeerimine

Kuidas minimeerida testprotsessi kestvust
piiratud mälumahu puhul?







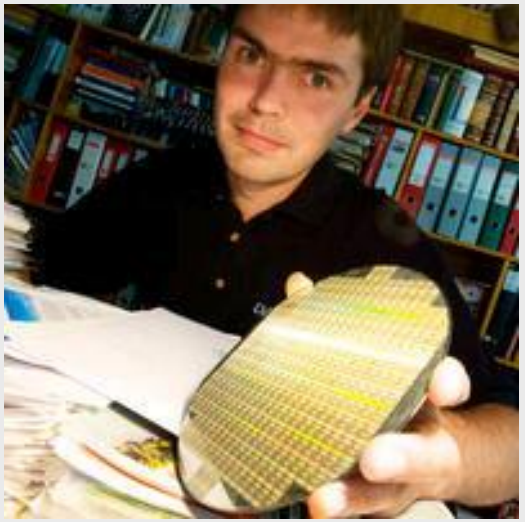


ATI tulemusi

Tarkvara tööriistu:

- **DOT –** defektide tasandi testide süntesaator ja analüsaator
- **TURBO-TESTER** – loogikatasandi testide süntesaator ja analüsaator
- **Rikete simulaator –** eri tüüpi rikete klassidele loogikatasandil
- **DECIDER** – kõrgtasandi testigeneraator
- **APRICOT** – disainide verifitseerimine
- Kõrgtasandi **disainivigade lokaliseerija**
- FPGA-põhine **testiakseleraator**

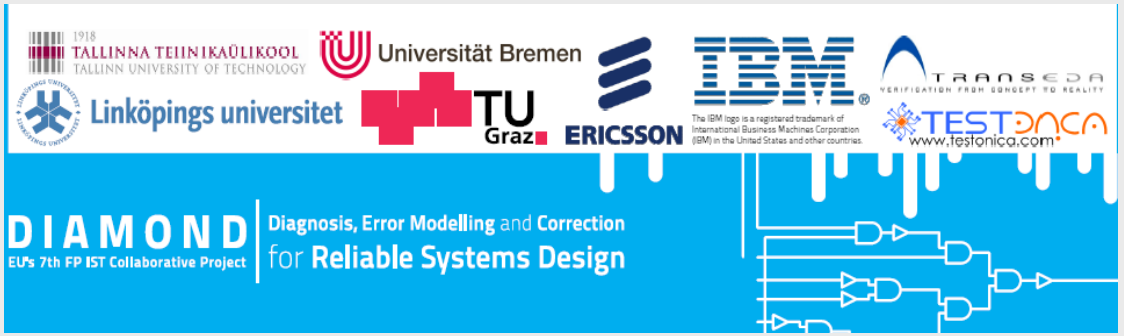
ATI koordineerib FP7 europrojekti DIAMOND



ATI koordineerib REGPOT europrojekti CREDES

U Verona, TU Darmstadt, TU Brandenburg, U York, U Aveiro, Göpel Electronic

Partnerid: IBM, Ericsson...

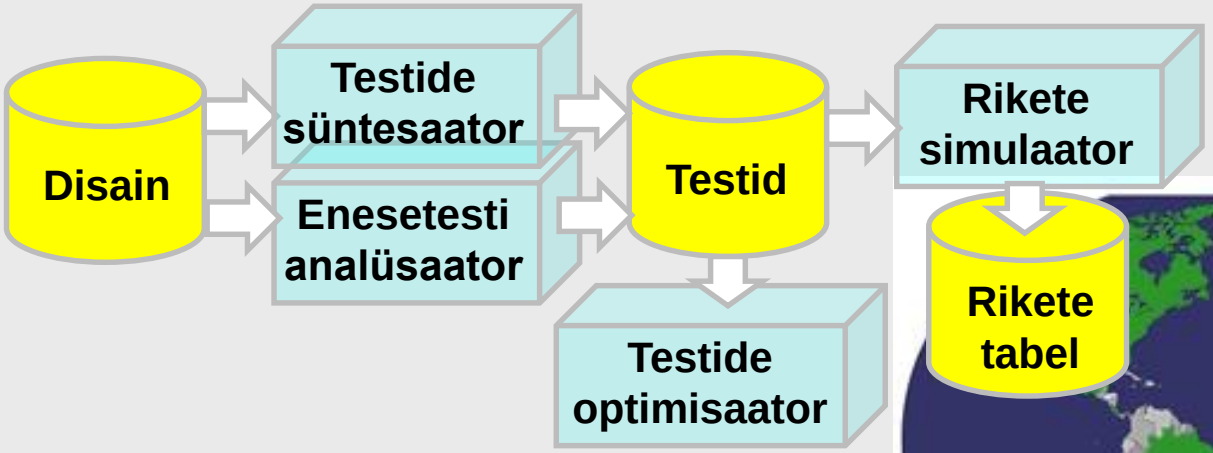


ATI rakendusi

Tarkvarakeskkond

Liidesed peamistele professionaalsetele CAD-süsteemidele

Loogikataseme diagnostika süsteem TURBO-TESTER

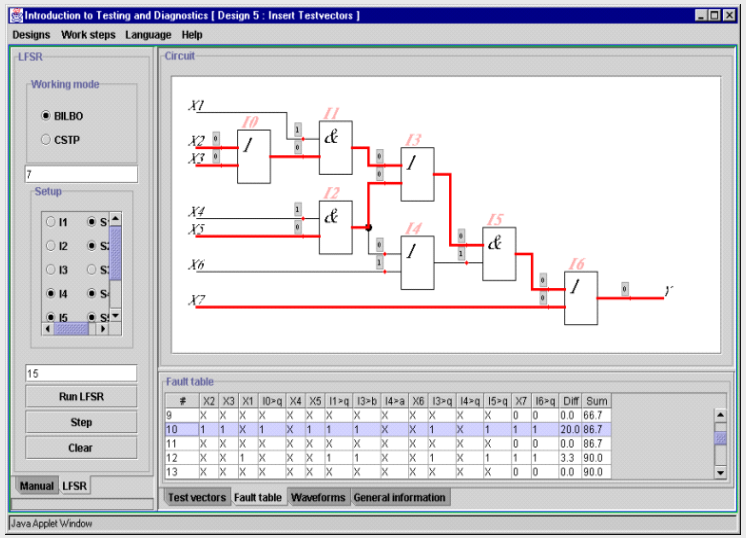


Litsenseeritud 110+ instituudis 45+ riigis

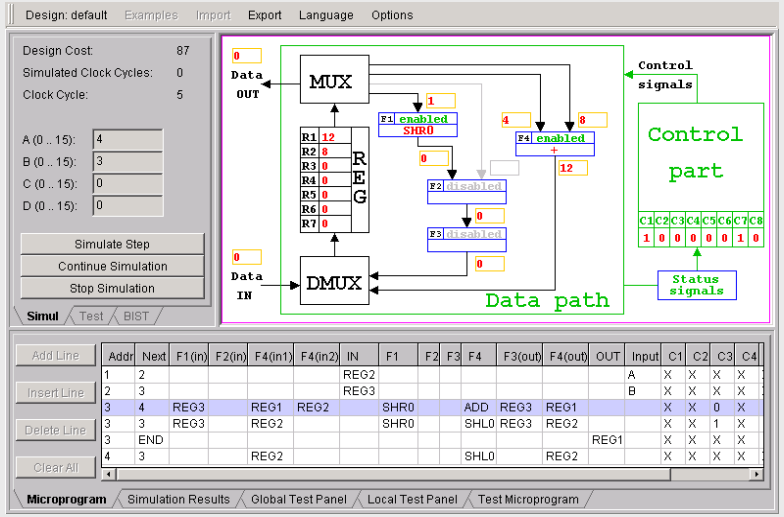
ATI e-õppe tarkvara

Java appletid klassiruumi, koju, laborisse ja eksamiks:

Loogika tasandi diagnostika

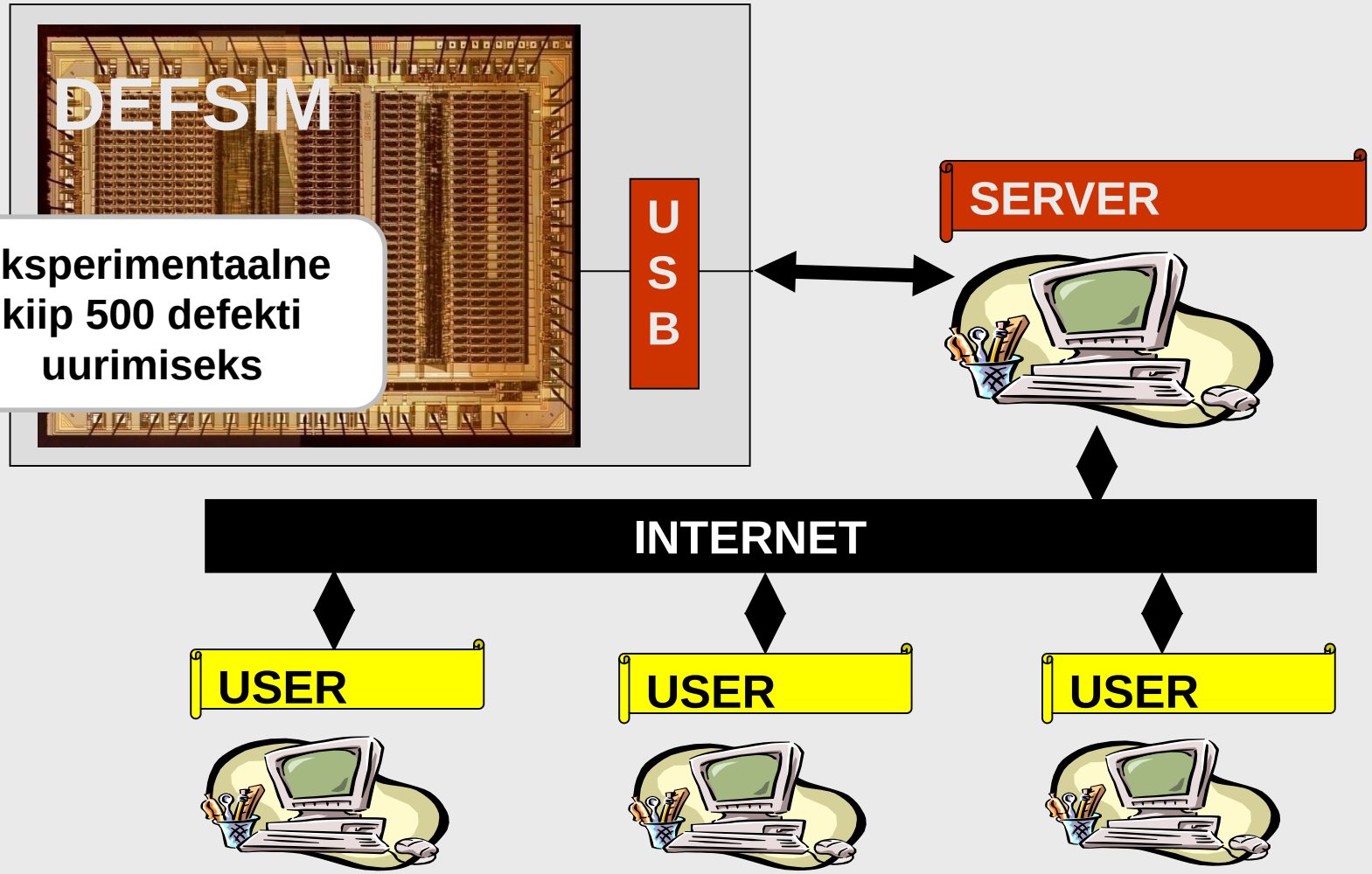


Süsteemi tasandi diagnostika



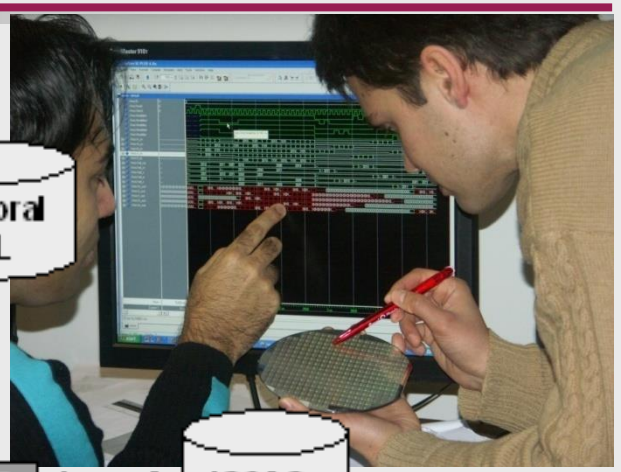
http://www.pld.ttu.ee/applets/

ATI virtuaalne laboratoorium



Uurimiskeskkond TTÜ ATIs

Võimalus mitmekesisteks eksperimentaaluuringuteks



Kõrge käitumuslik tase

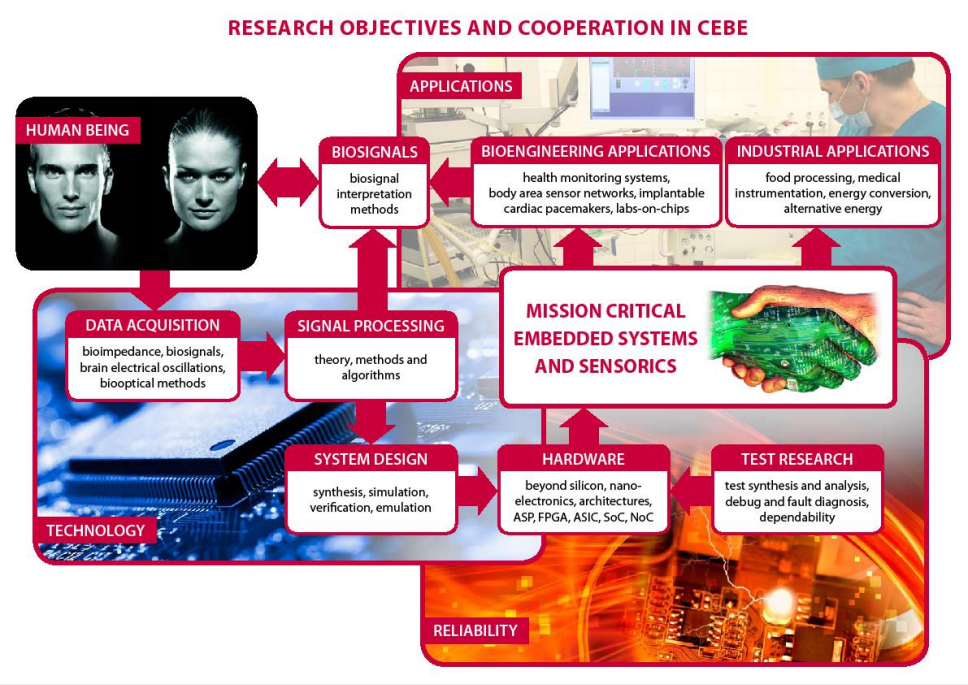
Jaga ja valitse

Loogikatase

Füüsika tase

Tippkeskus CEBE

- Tehnomeedikum
  - **Kardioloogia**
  - **Aju uuringud**
  - **Biovedelike optika**
- Elektroonika instituut
  - **Signaalitöötlus**
  - **Analoogdisain**
  - **Pooljuhtseadised**
- Arvutitehnika instituut
  - **Digitaalsüsteemide disain**
  - **Verifitseerimine ja diagnostika**
  - **Testi automatiseerimine**



Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus

Millega tegeleb CEBE?

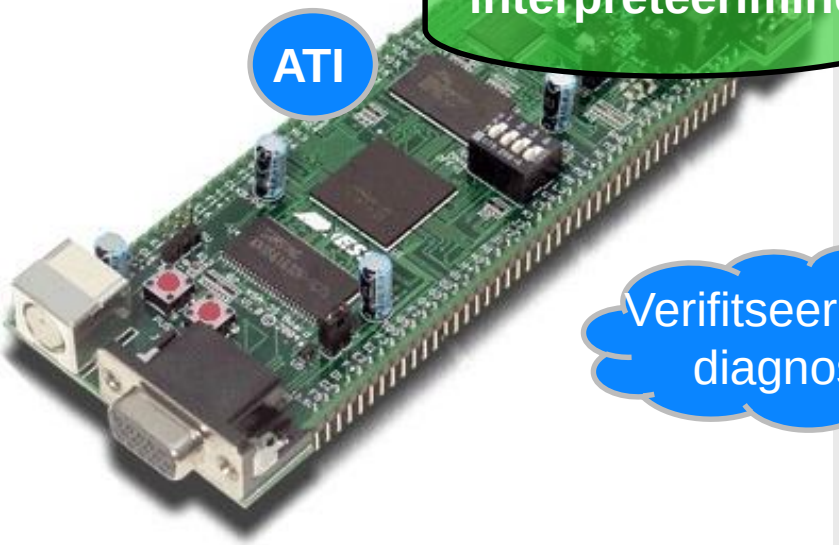
Ajusignaalide uuringud

SASI Depressiooni analüüs

TM

Biosignaalide interpreteerimine

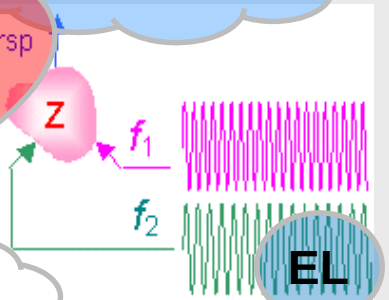
ATI



EL

Südame-stimulaatorid

Impedants-spektroskoopia



EL

Veresoonte resistentsus

Dialüüsi-protsesside analüüs

TM

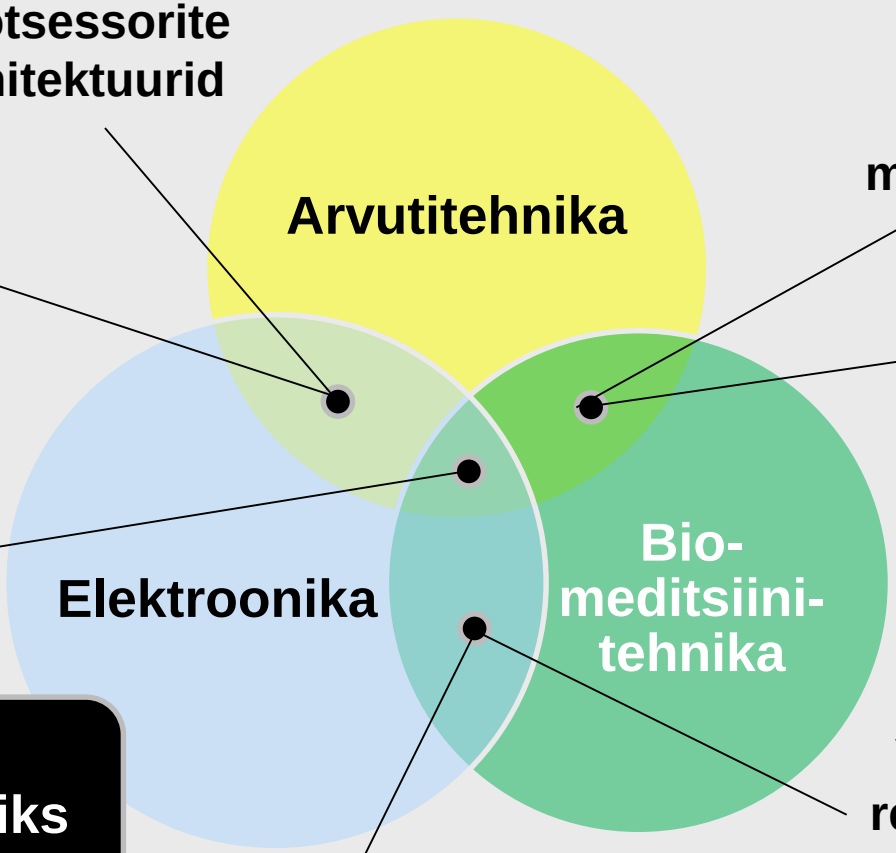
Signaalitöötlus-algoritmid

Verifitseerimine ja diagnostika

ATI

Sardsüsteemide disain

Koostöö sünergiast CEBEs



Signaali-protsessorite arhitektuurid

Elektroonika-aparatuuri testimine

Veakindlate sardsüsteemide disain ja test

Kolm piiririiki, suhtlusmeediumiks elekter

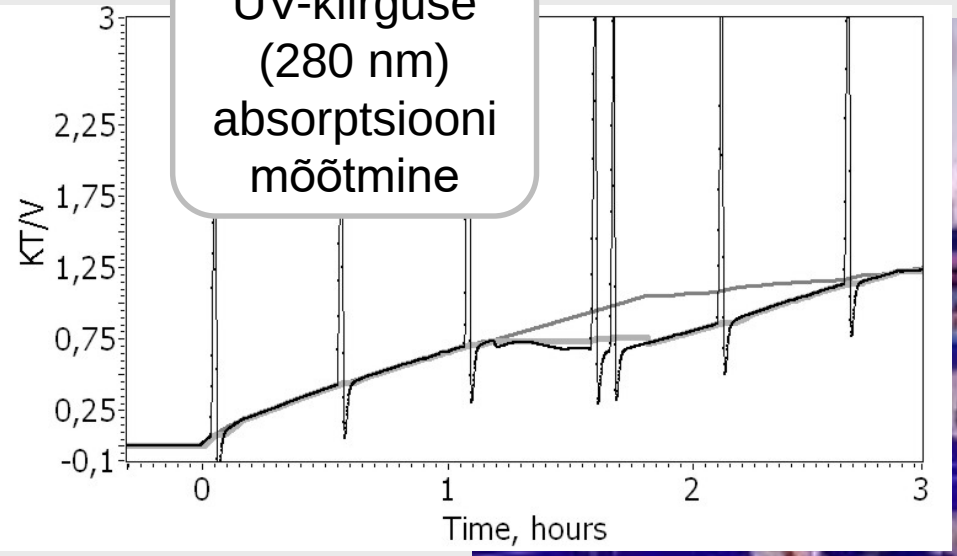
Dialüüsi monitooring

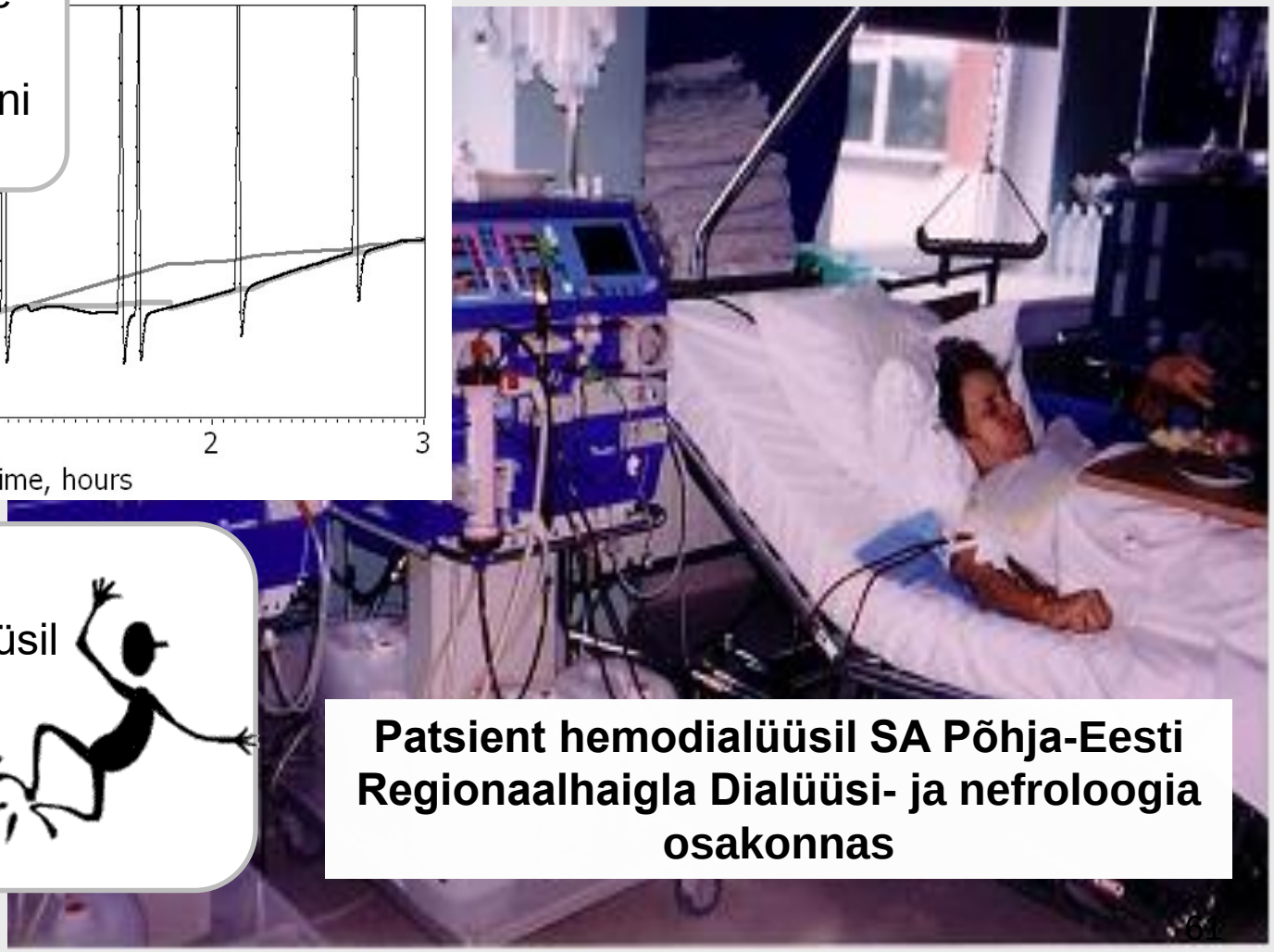
EEG Signaalitöötlus-protsessor

Veresoonte resistentsuse monitooring

Signaalitöötluse algoritmid

Koostöö: Tehisneeru töö monitooring

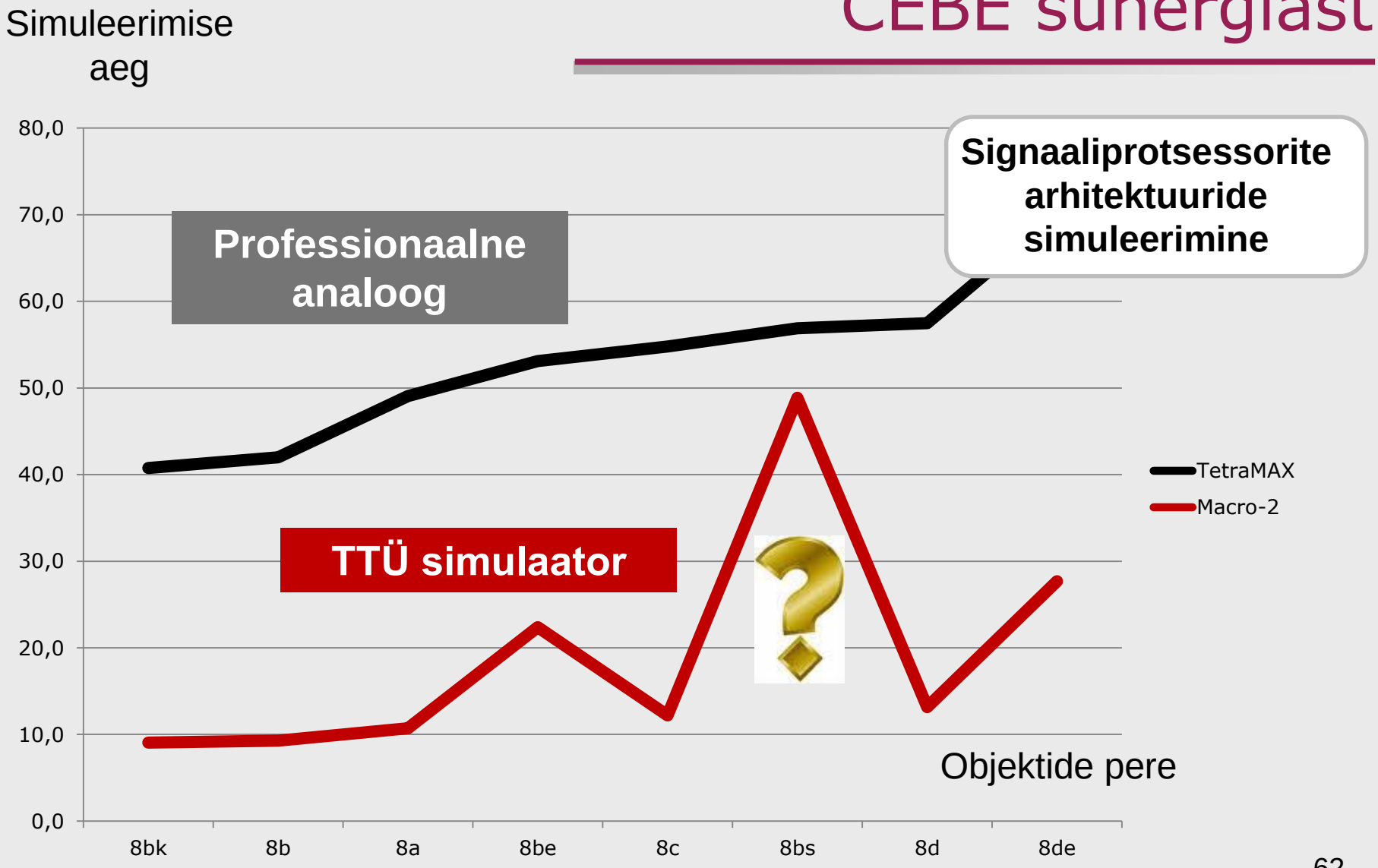




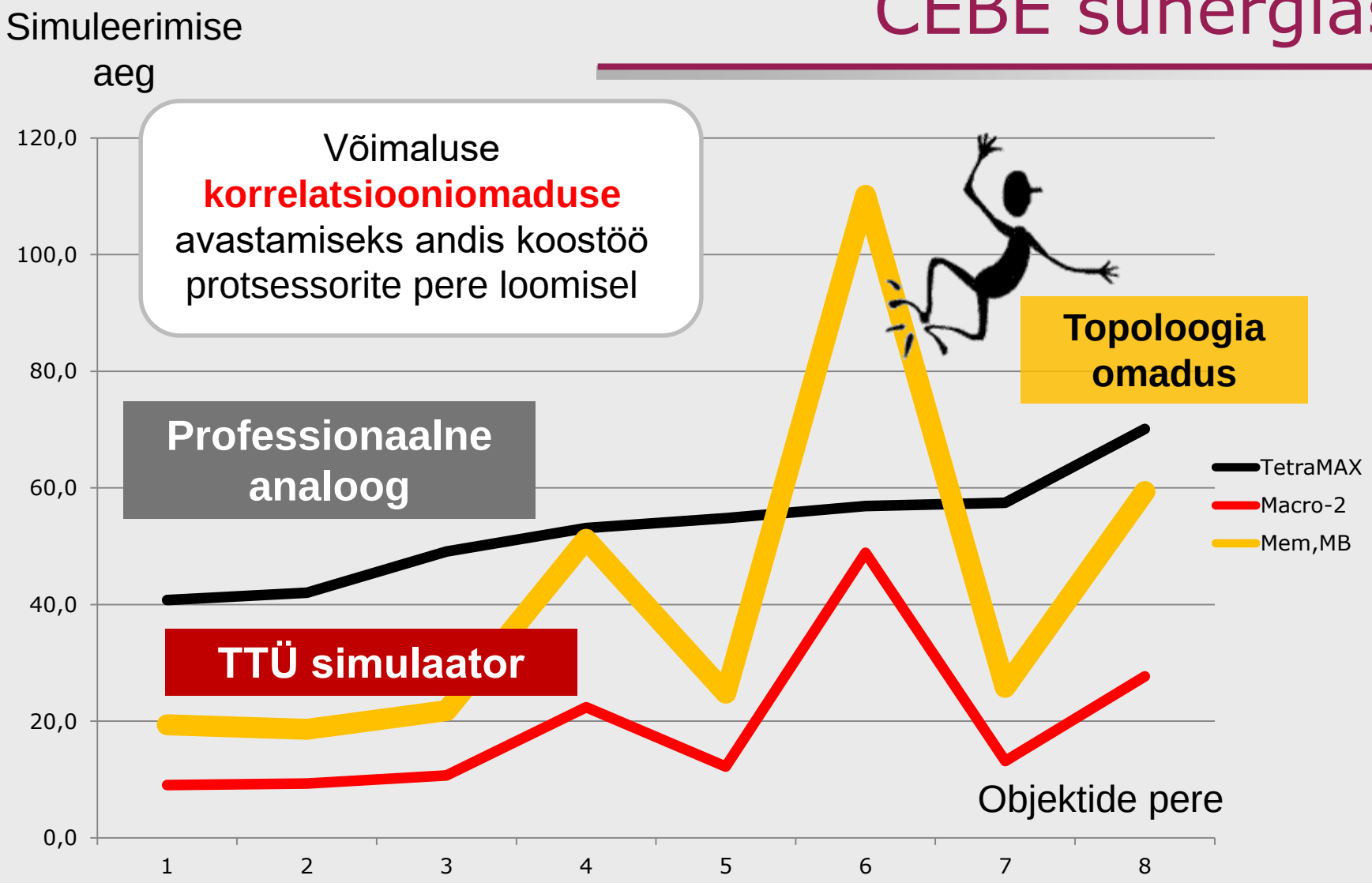
Patsient hemodialüüsil SA Põhja-Eesti Regionaalhaigla Dialüüsi- ja nefroloogia osakonnas

Sünergia:
Bioprotsessi analüüsil on rakendatud **elektroonika** diagnostika algoritme

CEBE sünergiast



CEBE sünergiast



Quo vadis, teadus?

- ✓ Maailm ja selle olemus on muutumas. Kõik uus, mis tekib, tekib eeskätt tänu arvutite võimsusele
- ✓ **Seaduspärasuste** (põhjus-tagajärg seoste) avastamine asendub *korrelatsioonide* avastamisega infomassiivides
- ✓ Kolme fundamentaalse avastusega – **aatom, geen ja arvuti** on põhilised mateeria, elu ja arvutamise seadused ära tunnetatud
- ✓ *Romantiline* teaduslike avastuste periood **(Age of Discovery)** asendub *pragmaatilise* teaduse rakendamise perioodiga **(Age of Mastery)**
- ✓ *Innovatsiooniliidriteks* saavad mitte tehniliste uuenduste loojad, vaid need, kes tegelevad rakenduse kontekstiga

Tehisintelligents?

- **Tehisintelligents** – valdkond, kus ülesandeks on programmeerida arvuteid tegema seda, mida seni on suutnud vaid inimene
- Kui arvuti on ülesande lahendanud, siis sellest hetkest peale see ülesanne ei kuulu enam tehisintelligentsi valdkonda
- **Järelikult ei saa tehnoloogia inimest mitte kunagi kätte**

- Mis vahe on **arvutiteadusel** je **tehisintelligentsil**? Nendest ülesannetest, mida on suudetud lahendada, on saanud *arvutiteaduse* valdkond
- Need aga, mis on jäänud lahendamata – see on *tehisintelligentsi* valdkond

Quo vadis, eesti insener?

- ✓ **Sardsüsteemide loomine** oleks loomupärane teaduse ja tehnoloogia väljund – lõpmatu innovatiivsuse allikas
- ✓ Suur osa on missiooni/elu kriitilised süsteemid
- ✓ Avarad kommertsperspektiivid: *tarkade asjade internet*
- ✓ **Rekonfigureeritavad FPGA tehnoloogiad** – programmeeritav pole mitte ainult tarkvara vaid ka riistvara
- ✓ Kuna meil ei ole väga kallist mikroelektroonika tööstust Eestis, siis programmeerime (loe: valmistame) ise selle, mida tööstuselt sooviksime
- ✓ **Tarkvarale taandatud töö** nõuab üksnes ajuressursse, seega
- ✓ **IT-alane kõrgharidus** peaks olema Eesti tähtsaim prioriteet, kuna mõjutab ükskõik milliseid muid teadusi või elualasid
- ✓ **Parim küberkaitse:** IT-alane riiklik sõltumatus