Profesor Andrzej Napieralski

WYKŁAD NA UROCZYSTOŚĆ NADANIA TYTUŁU DOKTORA HONORIS CAUSA UNIWERSYTETU MORSKIEGO W GDYNII

Rola przypadku w nauce – A role of chance in scientific discovery

Prof. Andrzej Napieralski
Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej
Łódź, Polska

AGENDA

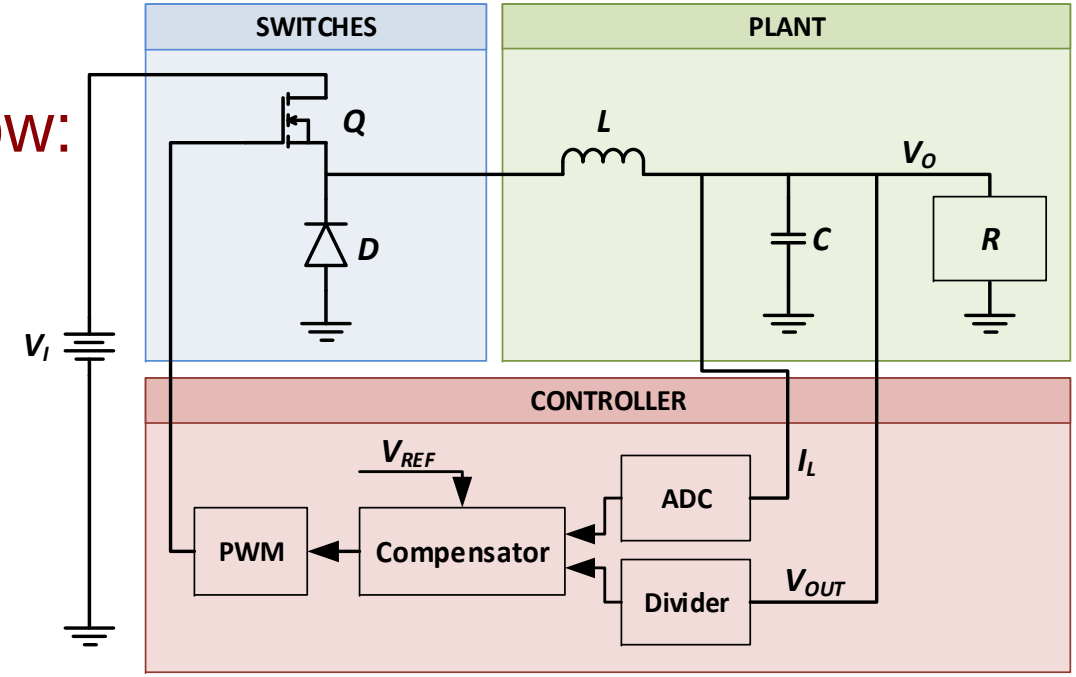
- Od elementów mocy do projektu MARS 2023
- Od projektu PERPLEXUS do ARUZa
- Od XFEL do ITER
- Podsumowanie

PRZETWORNICE STAŁOPRĄDOWE

Przetwornica stałoprądowa to układ elektroniczny, adaptujący stałonapięciowe źródło zasilania z jednego napięcia do innego

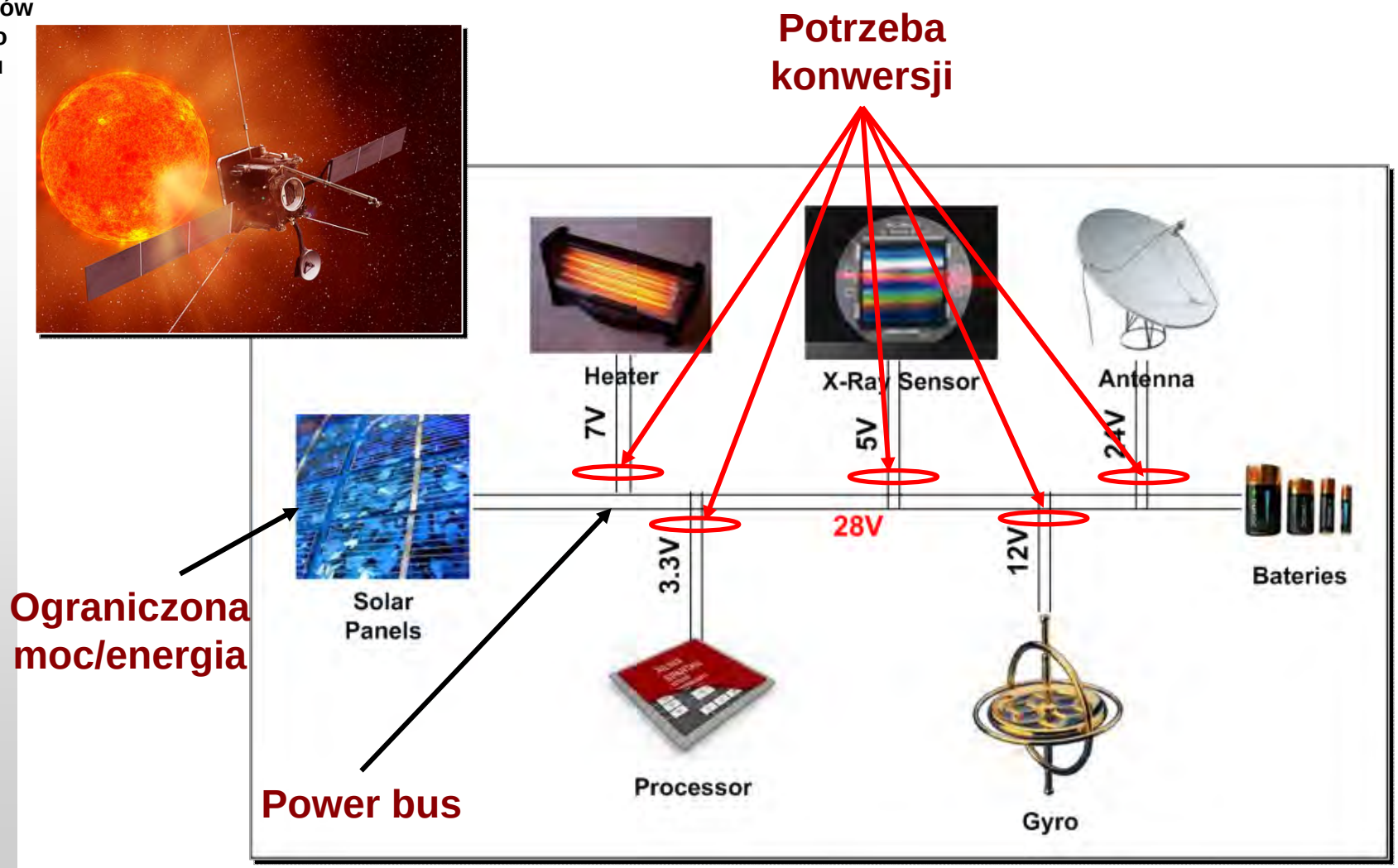
Rodzaje konwerterów:

- Liniowe
- Przełączające



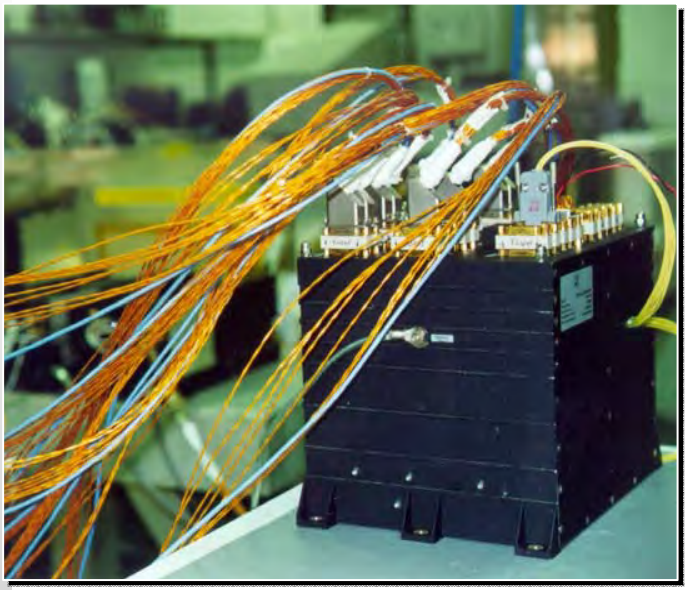
PRZETWORNICE STAŁOPRĄDOWE W SATELITACH

Od elementów mocy do projektu MARS 2023

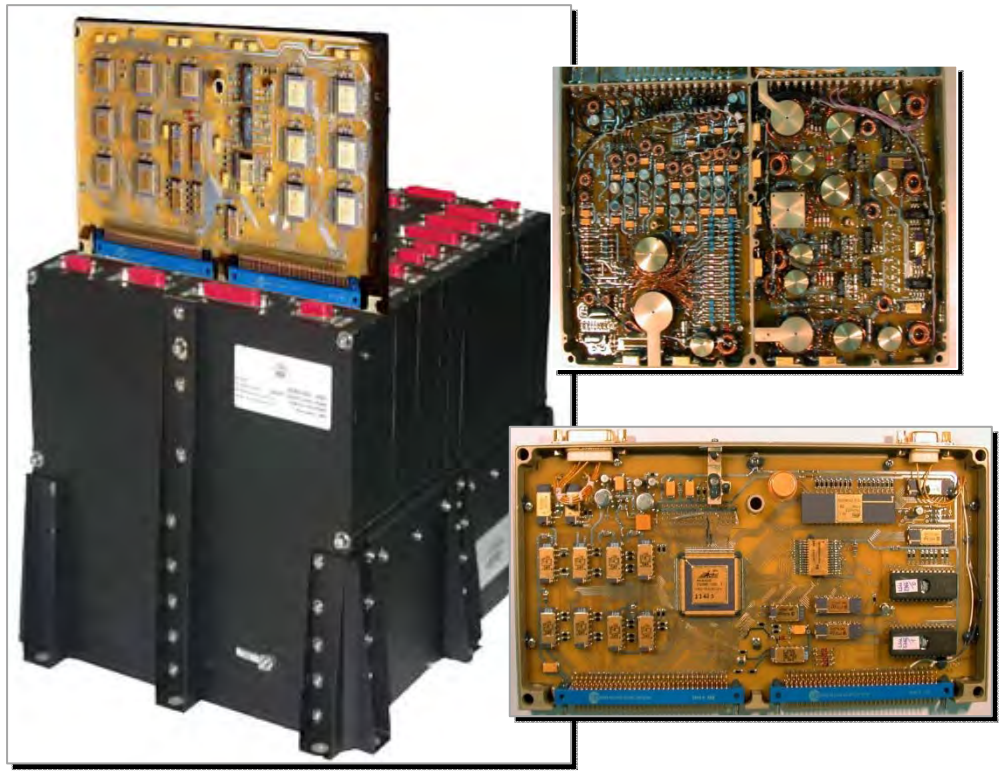


PRZETWORNICE STAŁOPRĄDOWE W SATELITACH

Wybrane przetwornice zaprojektowane w Centrum Badań Kosmicznych PAN



Integral



Herschel

Wyniesienie ładunków na orbitę jest jednym z najdroższych czynników podróży kosmicznych. Jeśli mogłoby to być bardziej efektywne, to całkowite koszty lotów kosmicznych byłyby o wiele niższe. Dzisiejsze koszty **wyniesienia 1 kg** ładunku z Ziemi na niską orbitę okołoziemską wahają się od 10 000 do 25 000 dolarów.

OGRANICZENIA PRZETWORNIC Z ELEMENTAMI DYSKRETNYMI

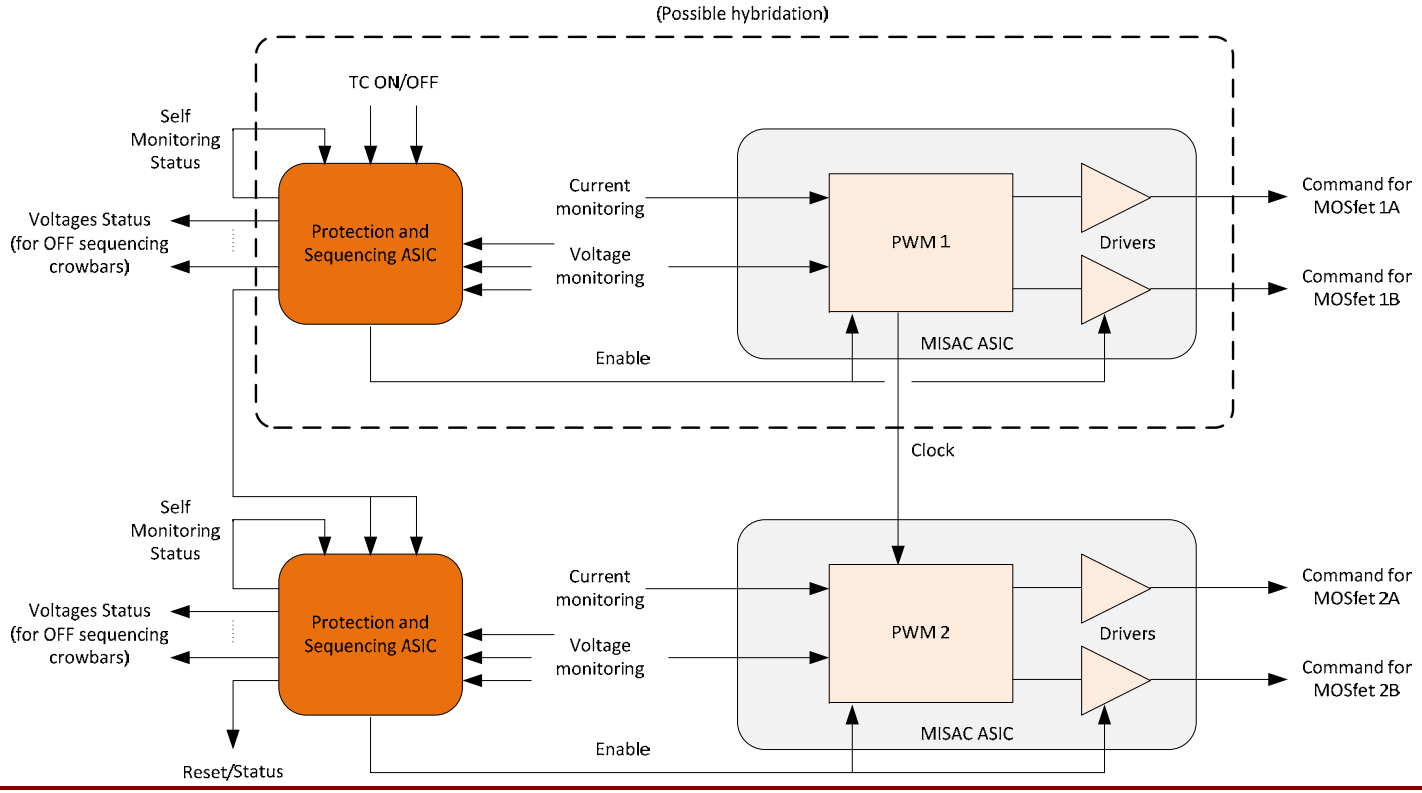
Ograniczenia wykorzystywanych układów analogowych:

- Podatność na wpływ środowiska kosmicznego: zmiana parametrów komponentów ze względu na:
- promieniowanie kosmiczne (**TID** – całkowita pochłonięta dawka promieniowania); • warunki termiczne; • starzenie.
- Czasowe lub permanentne uszkodzenie przez cząstki wysokoenergetyczne (**SEE** Single Event Effects) .
- Trudna optymalizacja przetwornic: konieczność samodzielnej pracy przez 10-15 lat, beż możliwości żadnej ingerencji;
- Pracochłonny proces dobierania komponentów przetwornic, ze względu na ich liczbę oraz odmienne parametry, np. termiczne i starzeniowe;
- Mały wybór sterowników przetwornic z kwalifikacją kosmiczną.

PROJEKT MISAC

Od elementów mocy do projektu MARS 2023

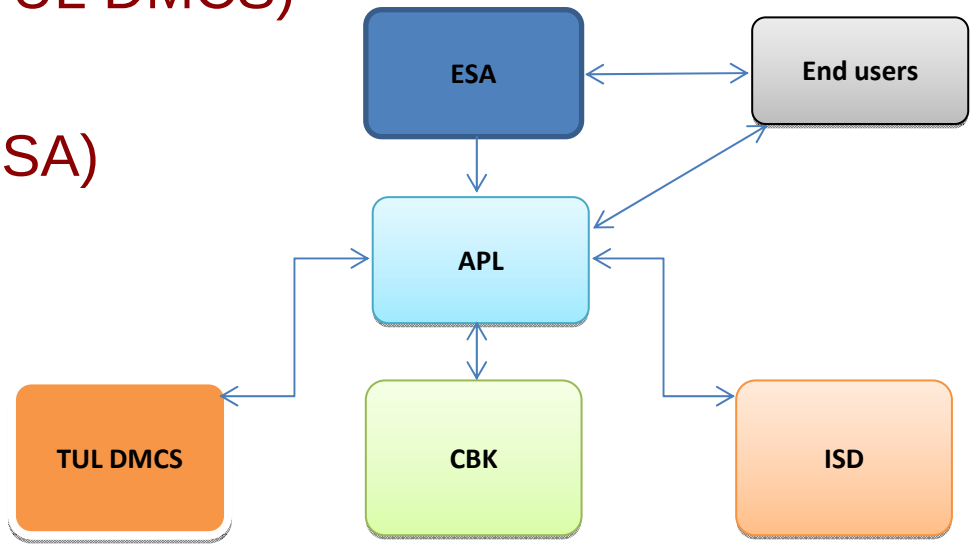
Główny cel projektu **MISAC** to opracowania scalonego sterownika umożliwiającego sterowanie przetwornicami prądowymi, jak również koordynowanie ich pracy, poprzez synchronizację oraz sekwencjonowanie ich funkcjonowania



KONSORCJUM

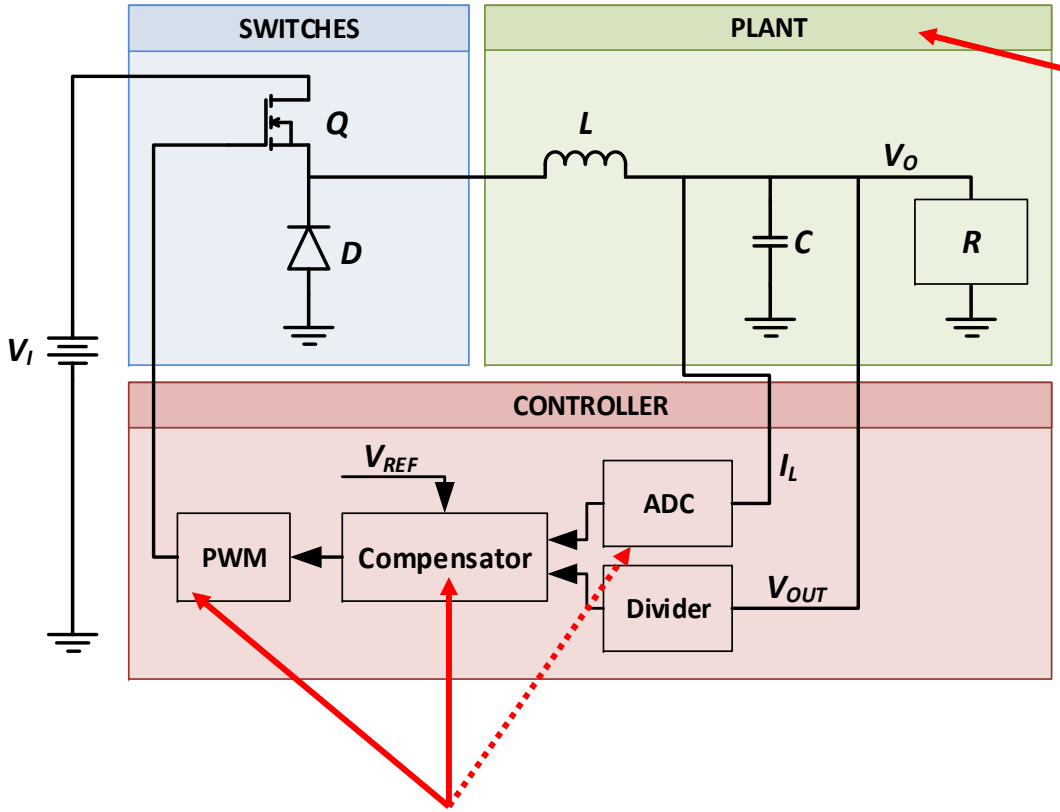
Od elementów mocy do projektu MARS 2023

- Astri Polska Sp. z o.o. (APL)
- Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk (CBK)
- Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej (TUL DMCS)
- Integrated Systems Development SA (ISD SA)



PROJEKT MISAC

Od elementów mocy do projektu MARS 2023



Mixed Signal ASIC Controller for Satellite Medium Power DC/DC converters

Sterowanie:

- Buck
- Boost
- Buck-Boost
- Flyback
- Forward

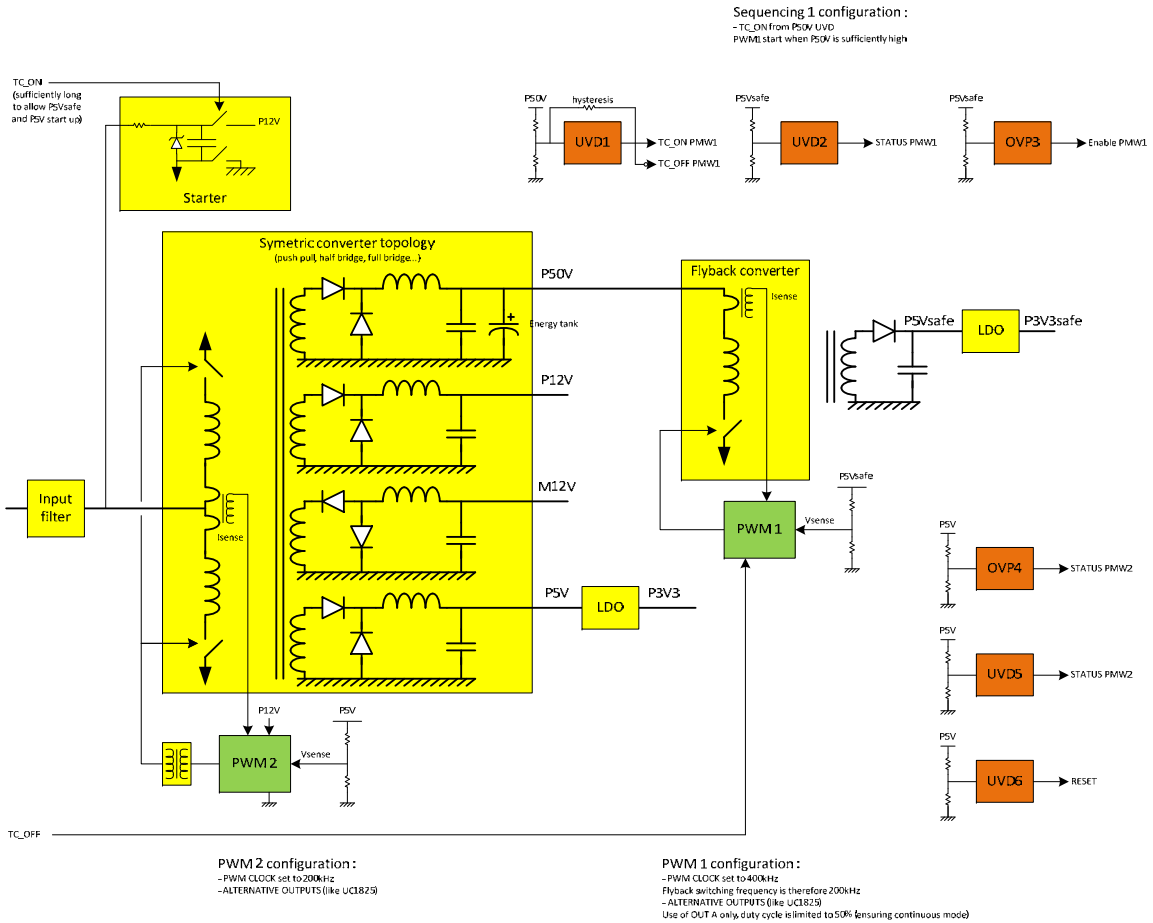
Planowane dwie wersje:

- Analogowa
- Mieszana analogowo-cyfrowa

DZIAŁANIE UKŁADU MISAC

Od elementów mocy do projektu MARS 2023

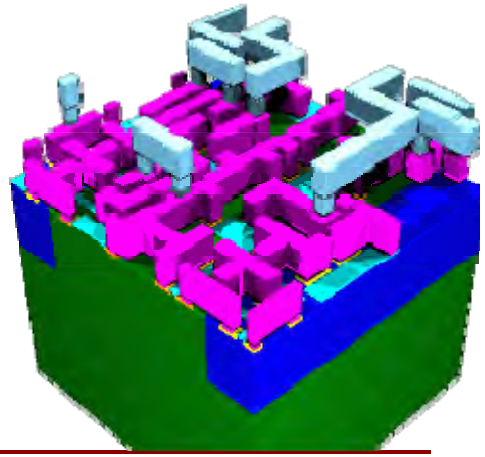
Bezpieczne zasilanie układów cyfrowych



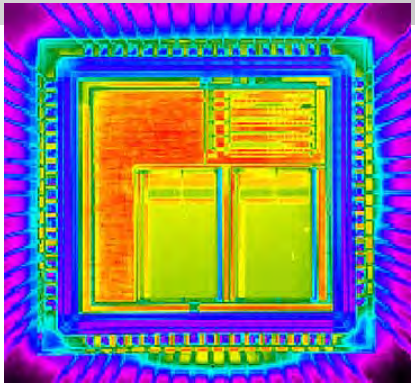
ZALETY UKŁADU MISAC

Proponowany kontroler MISAC oferuje zalety takie jak:

- Redukcja wpływu promieniowania: wybrana technologia półprzewodnikowa oraz zaimplementowane algorytmy EDAC zmniejszają wpływ TID, SEE and SEL.
- Uproszczona konstrukcja przetwornicy dzięki zmniejszeniu liczby komponentów do jej zbudowania;
- Mniejsze rozmiary w porównaniu z układami dyskretnymi:
  - bardziej jednorodny wpływ środowiska pracy na działanie systemu elektronicznego;
  - mniejsza zajmowana objętość; • niższa masa.
- Implementacja różnych trybów działania;
- Redukcja mocy pobieranej przez kontroler;
- Zdolność synchronizacji pracy kilku układów MISACs poprzez zestaw linii sygnałowych.



PROCES PÓŁPRZEWODNIKOWY



Wybór technologii realizacji jest krytyczny dla każdego urządzenia kosmicznego:

- właściwości elektryczne;
- efekty cieplne;
- wpływ promieniowania;
- starzenie.

Przykładowe projekty stosujące elementy półprzewodnikowe w produktach do zastosowań kosmicznych:

- Thales Alenia Space's VASP: analogowy front-end i konwersj A/D do obróbki sygnałów z matryc CCD i CMOS (XFab);
- CERN: kontroler przetwornicy dla LHC (ON Semi);
- Thales Alenia: macierz czujników SpaceStar X32 (AMS 0.35)

PROCES PÓŁPRZEWODNIKOWY

Szereg technologii był sprawdzany pod kątem przydatności do realizowanego projektu

Technologia	Właściwości		
	Wymiar charakterystyczny	Dopuszczalne napięcie	Odporność na radiację
X-Fab XH035	0.35 µm	90/100 V	Design libraries
Atmel ATMX150RHA	150 nm	65 V	Optimized SOI process
Telefunkensemi TFSMART2	0.35 µm	80 V	SOI process
ON-Semi **I3T80**	0.35 µm	80 V	Design libraries

Tablica 2. Technologie ASIC stosowane w aplikacjach kosmicznych

SEMICONDUCTOR TECHNOLOGY

The **I3T80** process is a proven and matured contender:

•Due to its extensive capabilities it has been used in the past for various space application ASICs by several companies:

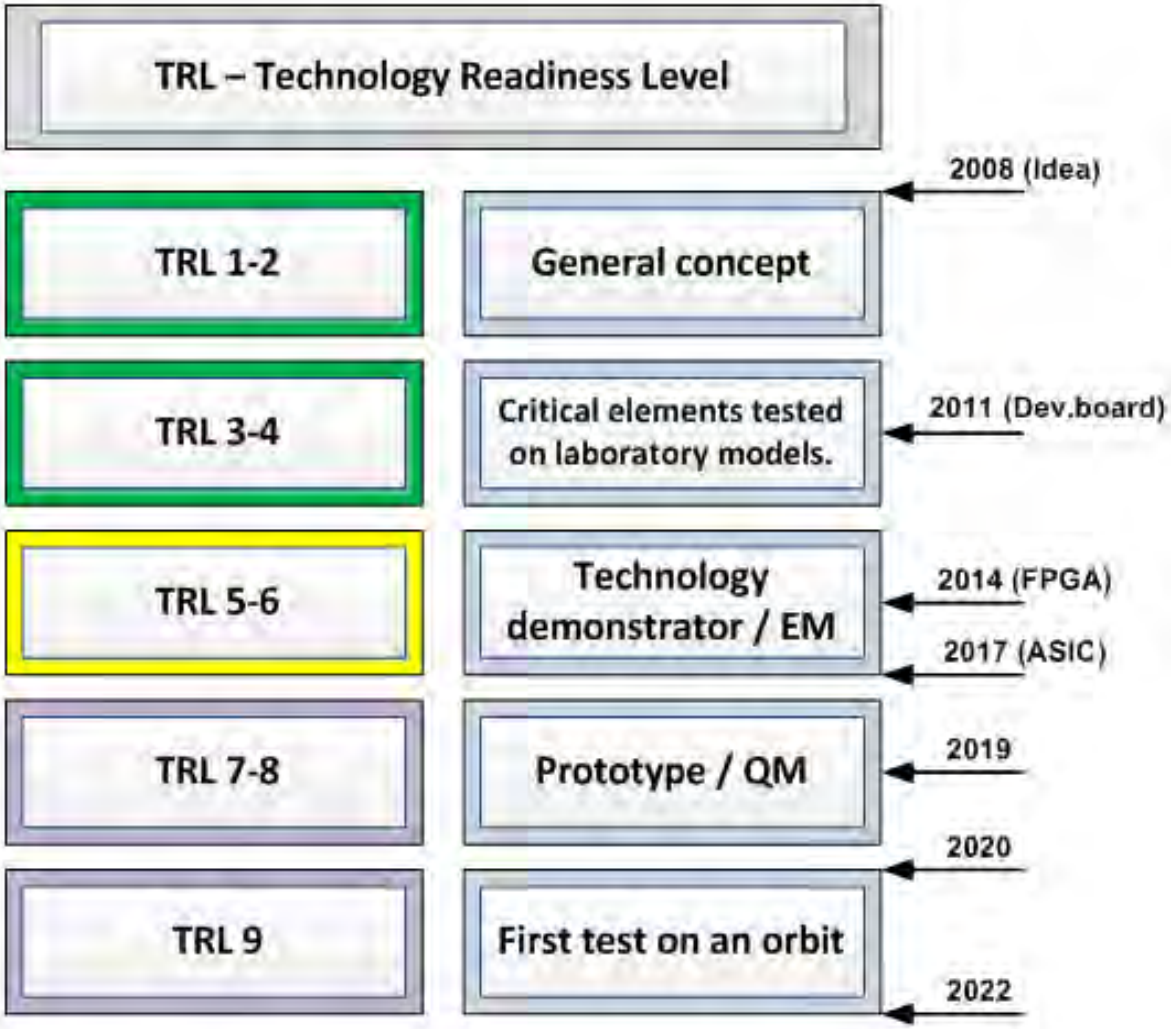
- EADS Sodern (sensor interface);
- CERN (DC/DC converter);
- Arquimea (digital & signal conditioning ASIC).

•Process selections and choices made by the mentioned companies were based on generally similar principles as ones taken into account in this proposal.

•Valuable knowledge is available through analysis of published results of already undertaken space-oriented designs with use of this process.

POZIOMY GOTOWOSCI TECHNOLOGICZNEJ

Od elementów mocy do projektu MARS 2023



ZASTOSOWANIA UKŁADU MISAC

Jeden z pierwszych w Polsce komponentów elektronicznych z (trwającą) kwalifikacją kosmiczną

- Systemy zasilania różnego rodzaju:
  - Przetwornice stałoprądowe;
  - Układy kontroli i dystrybucji mocy, np. Power Processing Units (PPU).
- Pojazdy kosmiczne:
  - Satelity – zasilanie komponentów i systemów (MARS 2023);
  - Awionika – układy bardzo niskiego napięcia (ELV);
  - Rockets – nosiciele następnej generacji:
    - Zawory elektryczne; • Siłowniki.
  - Inne przyrządy wymagające stabilnej pracy przez długi okres czasu w środowisku kosmicznym lub zbliżonym.
- Zastosowania wojskowe.

PROPONOWANY WKŁAD DO MISJI MARS 2023

Proponowany wkład Katedry Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej

- System zasilania komponentów próbnika/satelity, wykorzystujący układy scalone do zastosowań kosmicznych.
- Wykrywanie anomalii i rozpoznawanie obrazów, metody sztucznej inteligencji.
- Systemy wbudowane dedykowane do akwizycji, przetwarzania, transmisji i gromadzenia danych zbudowane w oparciu o mikrokontrolery, procesory i układy programowalne FPGA (np. Xilinx, Altera, Actel) dedykowane dla aplikacji pracujących w przestrzeni kosmicznej.
- Opracowanie od strony programowej (asembler, C, C++, systemy QNX, Linux), komponentu systemu sprawującego nadzór nad innymi komponentami satelity w celu wczesnego wykrycia zagrożenia awarią.
- Udział w opracowaniu misji autonomicznej bez ingerencji operatorów na Ziemi, w zbieraniu danych i przesyłanie tylko danych o dużej wartości naukowej.

INTELIGENTNE ZASILANE NANOSATELITÓW

Kompetencje Katedry Mikroelektroniki i Technik Informatycznych PŁ:

- ok. 30 zaprojektowanych i wykonanych układów scalonych:
  - systemy scalone w technologiach CMOS, BiCMOS, SOI oraz MEMS;
  - scalone układy cyfrowe, analogowe i mieszane;
  - systemy nisko/wysokonapięciowe w trybie napięciowym i prądowym.
- Udział w licznych projektach poświęconych układom scalonym:
  - granty krajowe i międzynarodowe;
  - projekty komercyjne na potrzeby przemysłu mikroelektronicznego;
  - udział w projekcie układu scalonego na potrzeby przemysłu kosmicznego, na zamówienie Europejskiej Agencji Kosmicznej.

INTELIGENTNE ZASILANE NANOSATELITÓW

Cechy Inteligentnego zasilania:

- dostosowanie jednego typu układu zasilającego do potrzeb różnych źródeł energii i jej odbiorników;
- możliwość adaptacji parametrów zasilania w trakcie lotu:
  - reakcja na zmianę parametrów/starzenie/awarie odbiorników:
  - możliwość synchronizacji pracy układów zasilania.

Potrzeba konwersji napięć zasilania w statkach kosmicznych:

- różne źródła (panele, akumulatory, ogniwa atomowe);
- różne odbiorniki (elektronika, systemy łączności, systemy orientacji, systemy detekcji cząstek promieniowania).

INTELIGENTNE ZASILANE NANOSATELITÓW

Konieczność oszczędzania dostępnej energii:

- ograniczone źródła energii nanosatelitów;
- ograniczone możliwości gromadzenia energii przez nanosatelity;
- możliwe pogarszanie się jakości odnawialnych źródeł energii.

Możliwości technologii półprzewodnikowych:

- odporność przyrządów na promieniowanie jonizujące (SOI);
- użycie technik rad-tolerant / rad-hard na poziomie układowym;
- dostępność modułów nisko-, średnio- i wysokonapięciowych;
- możliwy dostęp do bibliotek elementów rad-tolerant / rad-hard.

Zalety układów scalonych:

- możliwe wiele egzemplarzy układu w ograniczonej przestrzeni nanosatelity:
  - bardzo małe rozmiary i niska masa systemów scalonych;
  - niski własny pobór mocy i wysoka skuteczność konwersji mocy.
- użycie jednolitego i uodpornionego na promieniowanie procesu produkcji:
  - ograniczona liczba rodzajów elementów składowych projektu;
  - ujednolicone parametry termiczne i starzeniowe komponentów;
  - zwiększona odporność na promieniowanie jonizujące i następstwa jego oddziaływania (TID, SEE i SEL).

MISJA NA KSIĘŻYC MARSA - FOBOS

Fobos – większy i bliższy z satelitów planety Mars, około 22 km średnicy

Bardzo mała grawitacja umożliwia znaczące zbliżenie się do księżyca satelitów typu *CubeSat*, umożliwiające:

- Poznanie warunków panujących na ***Fobos***:
  - określenie spektrum promieniowania odbijanego przez ten księżyc
  - sporządzenie mapy rozkładu temperatury powierzchni
  - określenie wartości ciśnienia przy powierzchni
  - sporządzenie mapy rozkładu pola grawitacyjnego
- Wykonanie zdjęć Marsa w rozdzielczości ok. kilkudziesięciu do kilkuset metrów

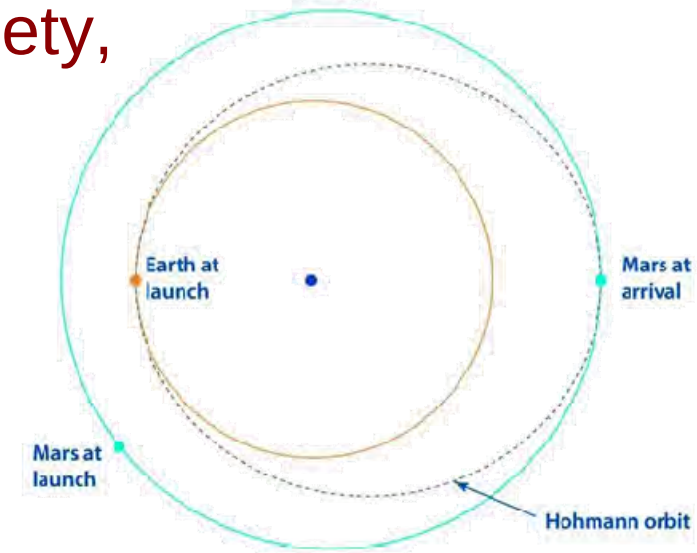
MISJA NA KSIĘŻYC MARSA - FOBOS

- Szansa na odpowiedzenie na pytanie, czy Fobos to przechwycona asteroida, czy część Marsa?
- Wytworzenie kompetencji o najwyższym poziomie wśród polskiej kadry naukowej w zakresie eksploracji kosmosu
- Opracowanie światowej klasy produktu (CubeSat), efektu pracy wysokiej klasy kadry inżynierskiej i naukowej
- Uzyskanie unikalnej wiedzy i awans polskich naukowców i uniwersytetów w rankingach światowych
- Wdrażanie i przyzwyczajanie naukowców do realizacji projektów o ogólnoświatowym znaczeniu

MISJE NA MARSA
PLAN LOTU

Wyniesienie satelitów na niską orbitę okołoziemską na pokładzie rakiety, alternatywnie:

- wraz z istniejącą misją NASA na Marsa;
- wraz z prowadzonym przez NASA startem na orbitę LEO/GEO;
- dzięki usługom firmy Virgin Orbit.



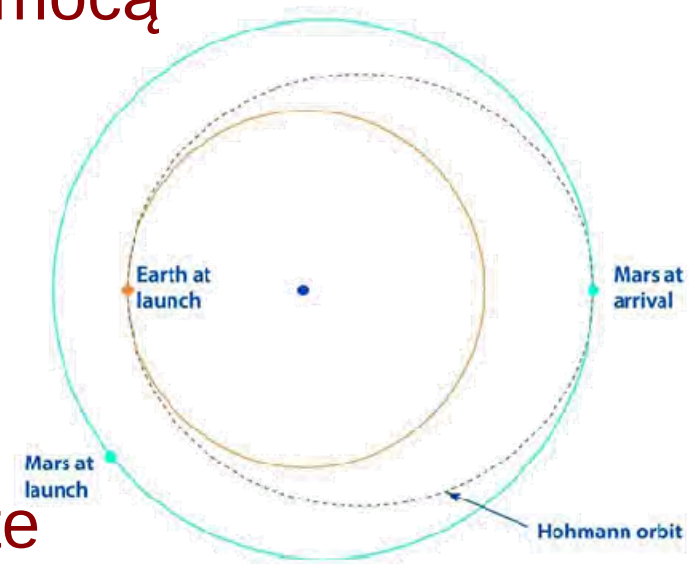
Po osiągnięciu okna kosmicznego do lotu na Marsa (po ok. 7-8 miesięcy), wykonanie manewru transferowego Hohmanna - przejście z niskiej orbity okołoziemskiej (LEO) na orbitę geostacjonarną (GTO).

MISJE NA MARSA - PLAN LOTU

Od elementów mocy do projektu MARS 2023

Lot z GTO na orbitę Marsa za pomocą własnego napędu satelity:

- silnik jonowy lub silnik Halla;
- Całkowita masa satelity 16 kg;
- Moc brana przez napęd ~180W.



Wykorzystanie tzw. Quasi Satellite Orbit (QSO) do utrzymywania się wokół Księżyca Fobot.

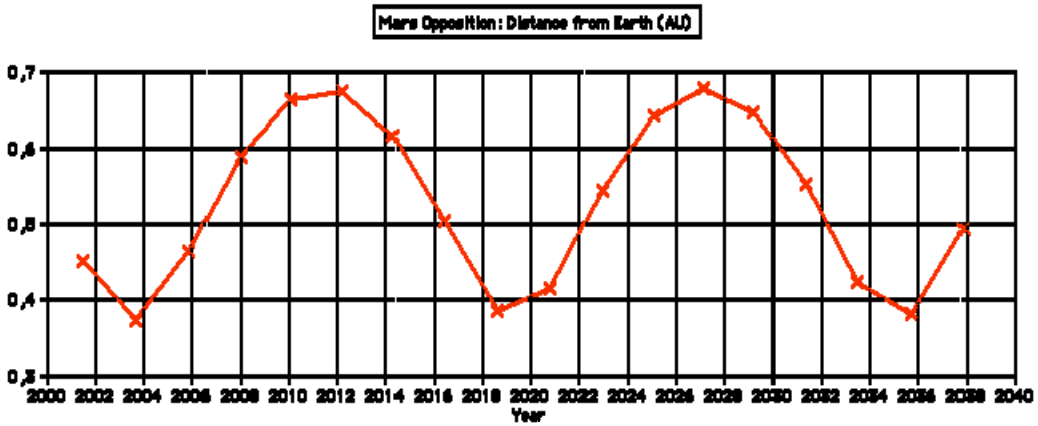
- masa Fobos jest zbyt mała, aby przechwycić satelitę na jego orbitę w zwykły sposób;
- niska wysokość QSO umożliwia wysoką rozdzielczość eksperymentów (mapa powierzchni, pomiar pola grawitacyjnego).

MISJE NA MARSA
FAZY PROJEKTU

- Pre-faza A – studium koncepcyjne
  - uczestnicy, mapa wiedzy, realistyczne założenia/warianty misji,
- Faza A – wstępna analiza
  - ramy czasowe, trajektorie lotu, potrzebny sprzęt, eksperymenty
- Faza B – definicja misji
  - podstawowe rozwiązania, podział zadań, wybór instrumentów
- Faza C i D – projektowanie i rozwój projektu
  - dokładny harmonogram i projekt, montaż i weryfikacja, osprzęt
- Faza E – wylot
  - Start, dolot, kontrola lotu, zbieranie danych i przesył na Ziemię
- Faza F – faza operacyjna
  - Analiza i opracowanie uzyskanych danych, publikacja wyników

HARMONOGRAM WSZYSTKICH MISJI

- MARS 2023
  - Misja obserwacyjna planety Mars i księżyca Fobos
- MARS 2027
  - W przygotowaniu, dokładniejsze badanie planety Mars
- MARS 2031
  - W przygotowaniu, możliwe opadnięcie lądownika na grunt marsjański, pomiary na powierzchni



KONSORCJUM PROJEKTU

POLSA – Inwestor Projektu i jego lider

- pełni rolę kierowniczą i wpisuje Projekt do swego programu działania;
- reprezentuje Projekt od strony administracyjnej wobec urzędów krajowych i zagranicznych.

Konsorcjum

- Zrzesza uczelnie, które wyraziły wolę udziału w misji MARS 2023;
- Formalnie organizuje niezależne podmioty;
- stanowi płaszczyznę wymiany pomysłów;
- uprawnia do planowania założeń misji;
- daje możliwość występowania o granty w programach celowych.

Rada Naukowa Konsorcjum

- Stoi na straży zgodności i równoważenia interesów uczestników Konsorcjum z potrzebami przygotowywanych misji.

PLANOWANA WSPÓŁPRACA

National Aeronautics and Space Administration

- NASA mogłaby dostarczyć (udostępnić) rakietę nośną oraz podzespoły, jak napęd elektryczny lub system radiowego kontaktu z Deep Space Network;
- Wkład NASA pozwoliłby wydatnie obniżyć koszty misji.

Deutsches Zentrum fuer **L**uft- und **R**aumfahrt oraz **J**apanese **A**erospace E**x**ploration **A**gency

- Pracują nad lądownikiem do misji na Fobos;
- Istnieje szansa uwspólnienia części oprzyrządowania z zyskiem dla obu misji

Virgin Orbit

- Może wkrótce dostarczyć lekkiej trzystopniowej rakiety do wynoszenia ultralekkich satelitów do misji marsjańskich, alternatywny nosiciel dla NASA.

UCZESTNICY KONSORCJUM

Od elementów mocy do projektu MARS 2023

Politechnika Wrocławska

Politechnika Poznańska

AGH

POLITECHNIKA GDAŃSKA

Politechnika Łódzka

KUL 1918

UNIWERSYTET PRZYRODNICZY WE WROCŁAWIU

SATREVOLUTION

Virgin ORBIT

Od projektu PERPLEXUS do ARUZa

From PERPLEXUS and DLL to ARUZ - a role of chance in scientific discovery

“Pervasive computing framework for modeling complex virtually-unbounded systems – **PERPLEXUS**” - "Rozproszona Platforma Obliczeniowa do Modelowania Złożonych Systemów Pozornie Nieograniczonych" Proposal/Contract No.: 34632. Date of preparation of Annex1: 21.03.2006, Operative commencement date of contract: 01.09.2006. Partners:

1. Haute Ecole d’Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud - HEIG-VD, Szwajcaria.
2. Universitat Politecnica de Catalunya – UPC, Hiszpania
3. Université Joseph Fournier Grenoble 1 - UJF, Francja
4. Université de Lausanne – UNIL, Szwajcaria
5. Politechnika Łódzka – TUL – Polska
6. Centre National de la Recherche Scientifique – CNRS, Francja
7. WANY Robotics – WANY, Francja
8. SCIPROM – Scientific project management – SCIPROM, Szwajcaria

The Authors

Eduardo Sanchez, Andres Perez-Uribe, Andres Upegui, Yann Thoma (HEIG-VD, Switzerland), Juan Manuel Moreno (UPC, Spain), Alessandro Villa (UJF, France), Henri Volken (UNIL, Switzerland), Andrzej Napieralski (TUL, Poland), Gilles Sassatelli (CNRS, France), Erwan Lavarec (Wany Robotics,France)

of paper

'PERPLEXUS: Pervasive Computing Framework for Modeling Complex Virtually-Unbound Systems'

have won the prize in the

Future and Emerging Technologies category

at the

AHS 2007 Conference

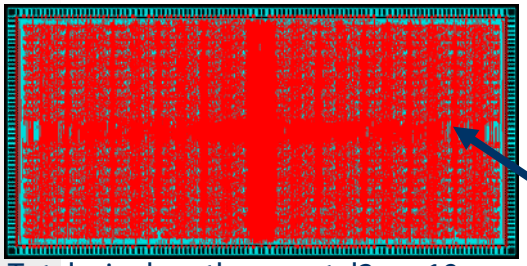
held at The University of Edinburgh
5th - 8th August 2007

Ubichip

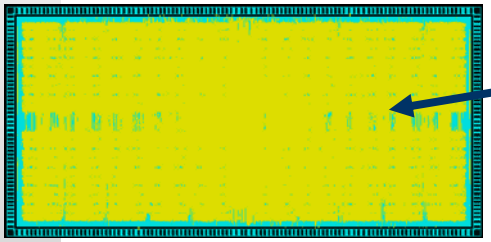
Rola DMCS: wykonanie scalonego układu rekonfigurowalnego Ubichip w technologii CMOS 180 nm, rozmiar rdzenia 5x10 mm: układ rekonfigurowalny pozwalający na implementację impulsujących sieci neuronowych i mechanizmów autokonfiguracji (self-evolvable hardware). Projekt układu scalonego SOI dla Tritem Microsystems GmbH, Rola: projekt analogowego stopnia wyjściowego dużej mocy i generatora sygnałowego.

Routing layers utilization

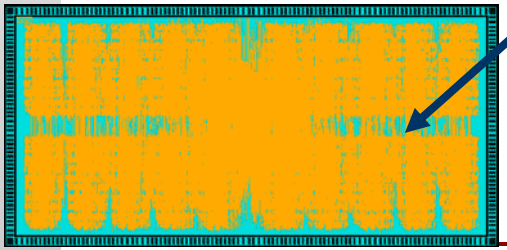
Horizontal layers (51.5 m)



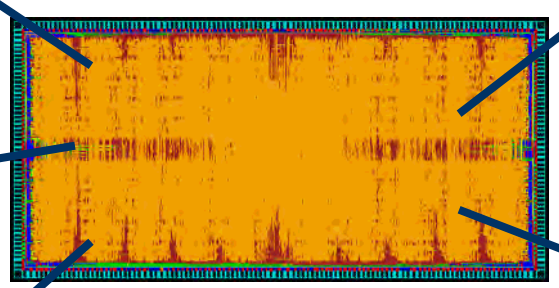
Total wire length on metal2 = ~19 m



Total wire length on metal4 = ~22.5 m



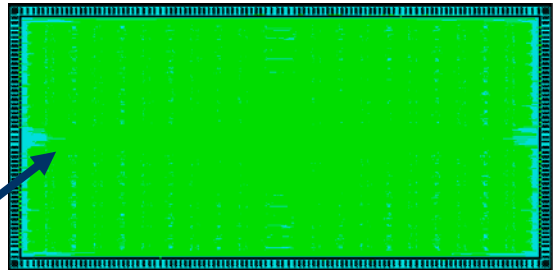
Total wire length on metal6 = ~10 m



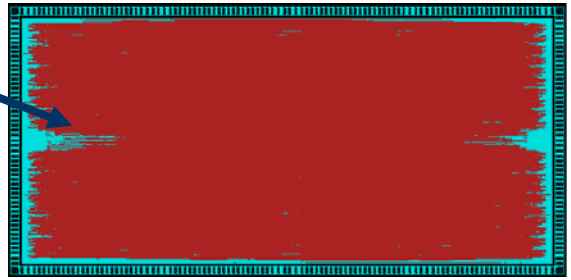
Total wire length = ~114.5 m

Total number of vias = 11 611 861

Vertical layers (57.5 m)



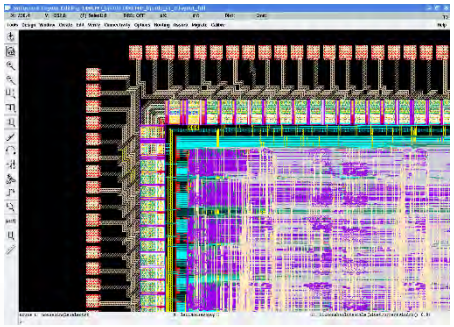
Total wire length on metal3 = ~32.5 m

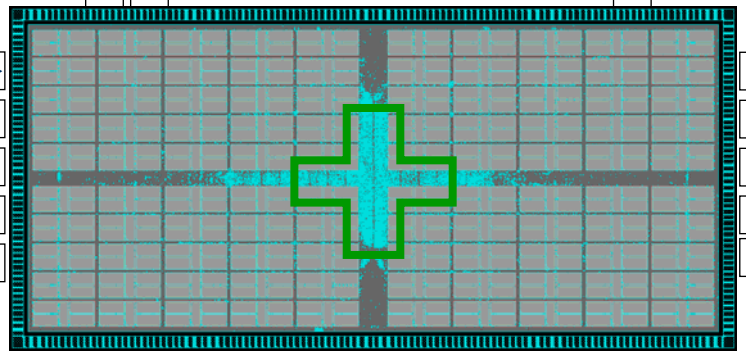


Total wire length on metal5 = ~25 m

Pin map

signal distribution



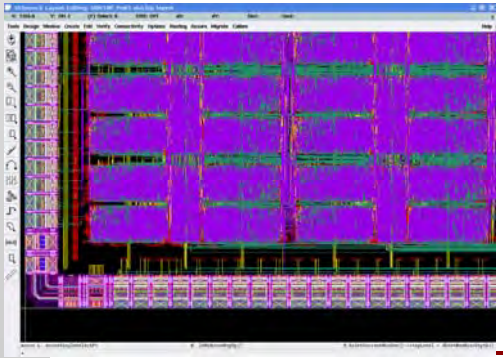


cam_rd \ wr \ on	gpout<39:37>
cam_full\AER_ready\master	gpin<39:37>
curr_chip_id_out<6:0>	gout<36:30>
spike_in<16:0>	gpin<36:20>
	gout<29:20>
AER_ADDR<7:3>	

gpin<40:59>	
gpout<63>	SRAM_nOE
gpout<62>	SRAM_nCS
gout<69:79>	SRAM_addr<10:0>
gout<55:61>	SRAM_addr<17:11>
	SRAM_addr<22:18>

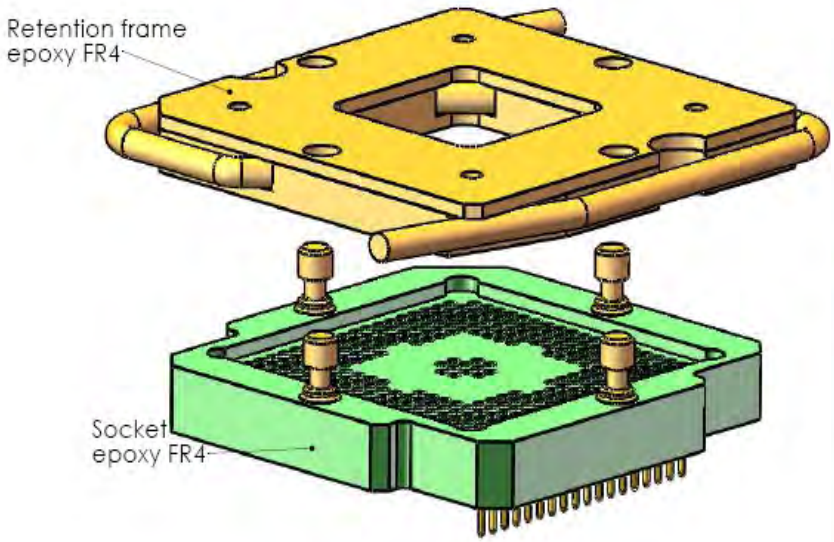
gpin<0>
gpin<1:19>
hit
CPU_DQM<0:3>
CPU_RDY/RDnWR
CPU_nPWE/nOE/nCs
seq_int/ack
SCONF_clk/in/out
config_mode
system_enable/reset
reset_in
CPU_data<0:31>
gout<0:19>

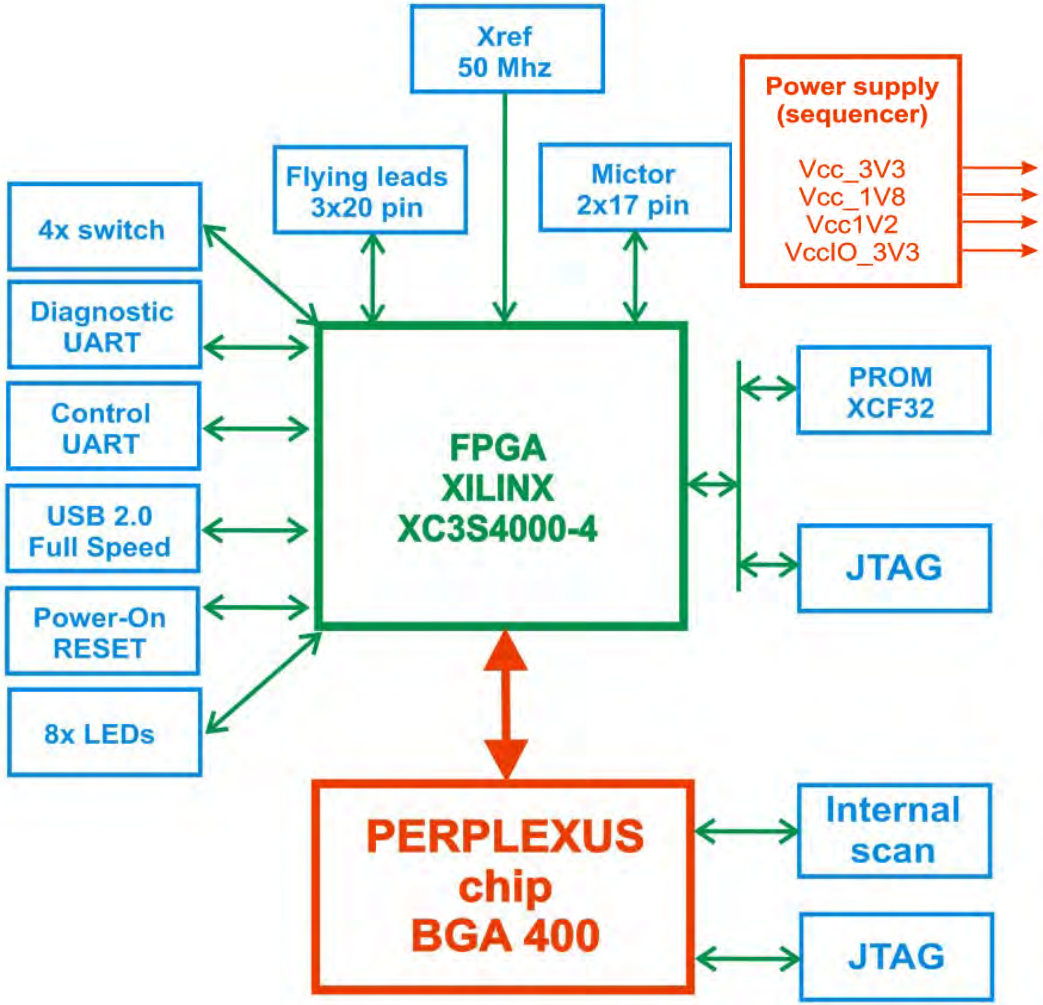
AER_ADDR<2:0>
cam_conf<14:0>
gpout<40:54>
CPU_address<25:0>
Clk_in
JTAG pads
SRAM_data<31:20>
SRAM_data<19:0>
gpin<60:79>
SRAM_nWE
gpout<64>
SRAM_DQM<3:0>
gout<65:68>
SRAM_addr<25:23>



Physical verification

Testboard

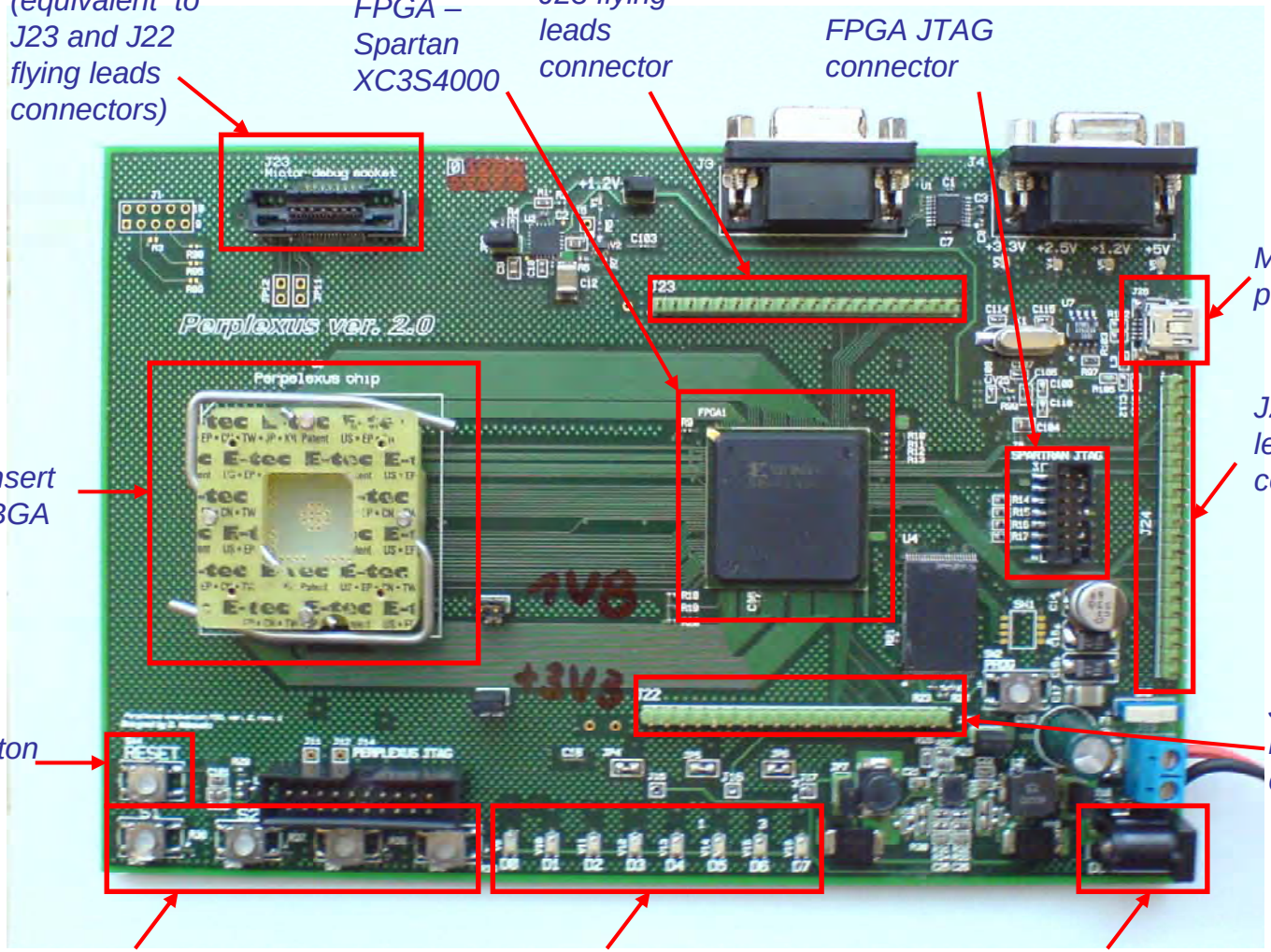




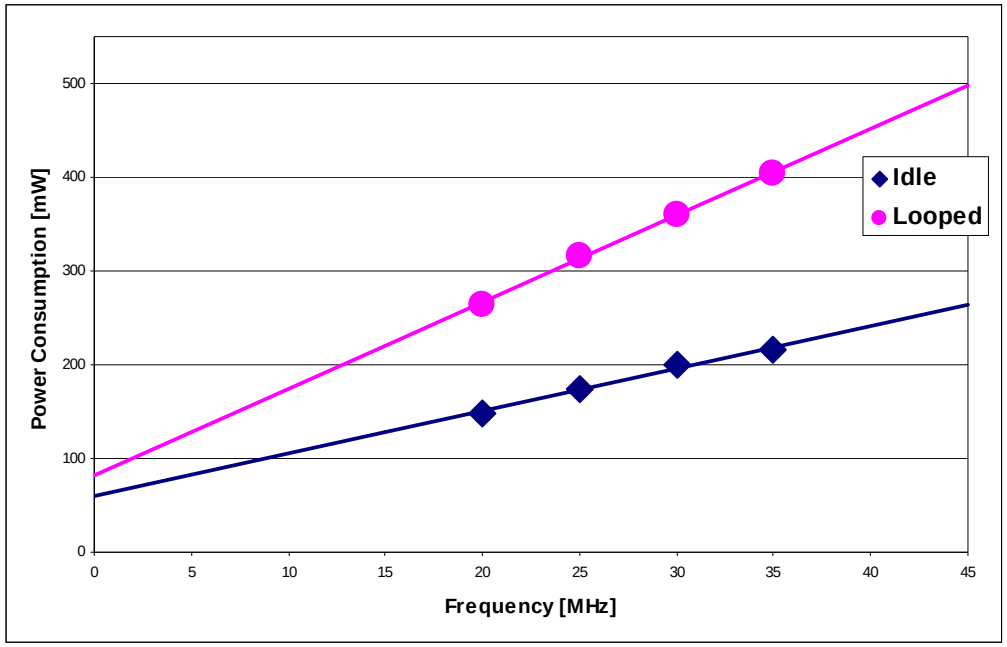
BGA 400 ZIF package

ZIF = Zero Insert Force socket

Testboard – photo and description



Power consumption



Estimation for 45 MHz: 0.5W

	Frequency											
	20MHz			25MHz			30MHz			35MHz		
	Current @1.8V [mA]	Current @3.3V [mA]	**Power [mW]**	Current @1.8V [mA]	Current @3.3V [mA]	**Power [mW]**	Current @1.8V [mA]	Current @3.3V [mA]	**Power [mW]**	Current @1.8V [mA]	Current @3.3V [mA]	**Power [mW]**
Idle	57	14	148,8	71	14	174	85	14	199,2	94	14	215,4
Looped	92	30	**264,6**	117	32	**316,2**	138	34	**360,6**	149	41	**403,5**

ARUZ – Hardware Implementation of DLL Algorithm

Piotr Amrozik, PhD(1)
Krzysztof Hałagan, PhD(2)
Grzegorz Jabłoński, PhD(1)
Rafał Kiełbik, PhD(1)
Joanna Kupis, MSc(1)
Zbigniew Mudza, MSc(1)
Dominik Stożek, MSc(3)
Adam Włodarczyk, MSc(4)
Witold Zatorski, PhD(5)

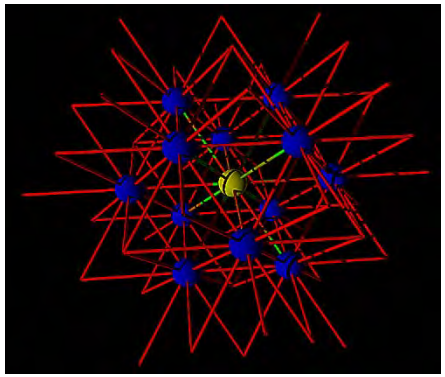
(1): Department of Microelectronics and Computer Science, Lodz University of Technology

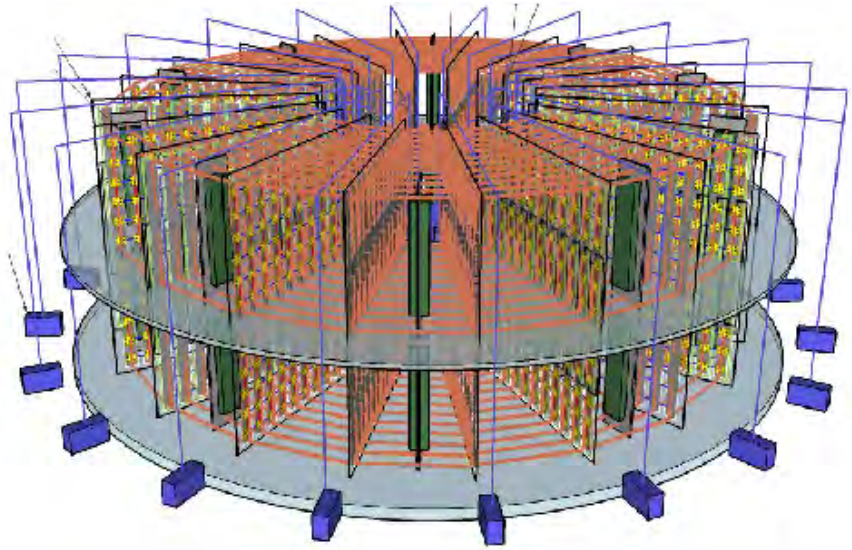
(2): Department of Molecular Physics, Lodz University of Technology

(3): Blue Brick

(4): Ericpol

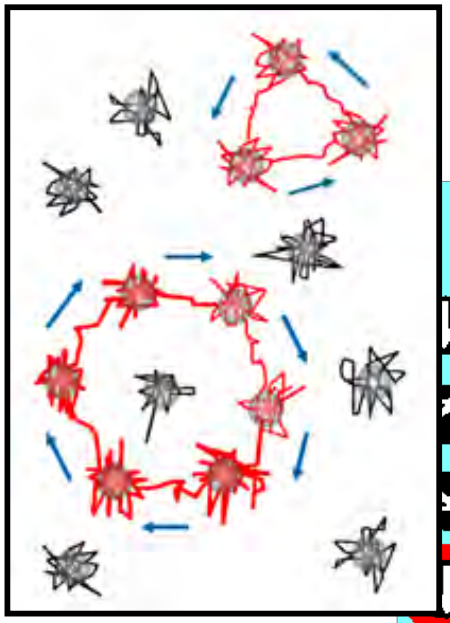
(5): Forel

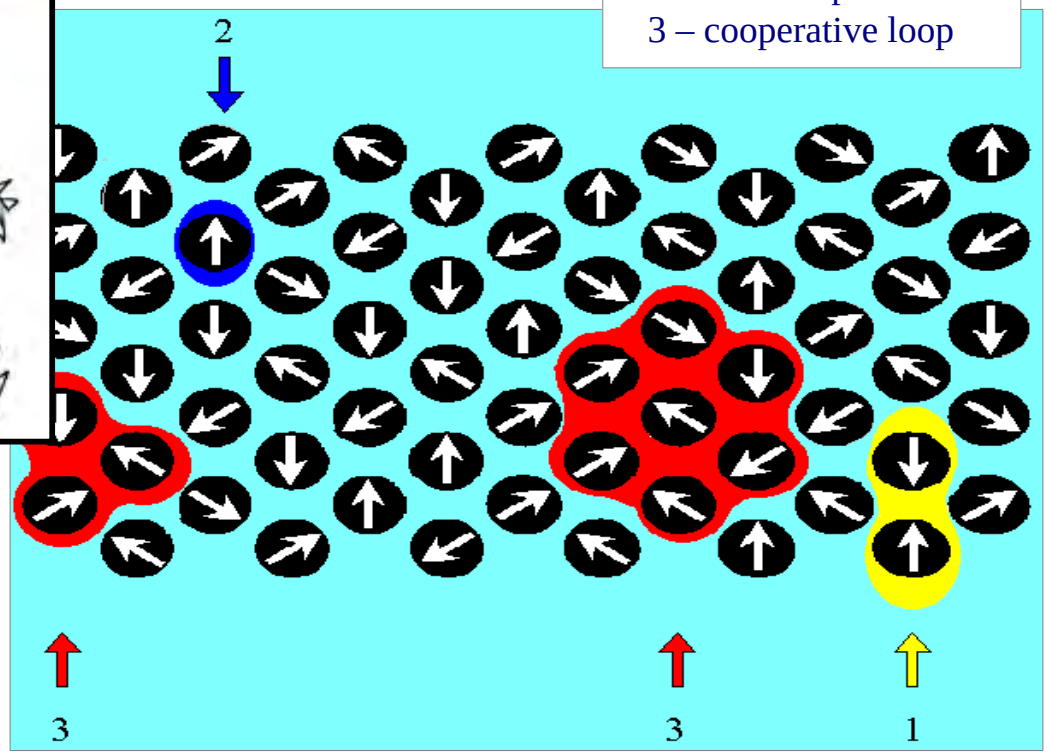




Inspiration: Dynamic Lattice Liquid (DLL) Algorithm

Prof. T. Pakuła, PŁ



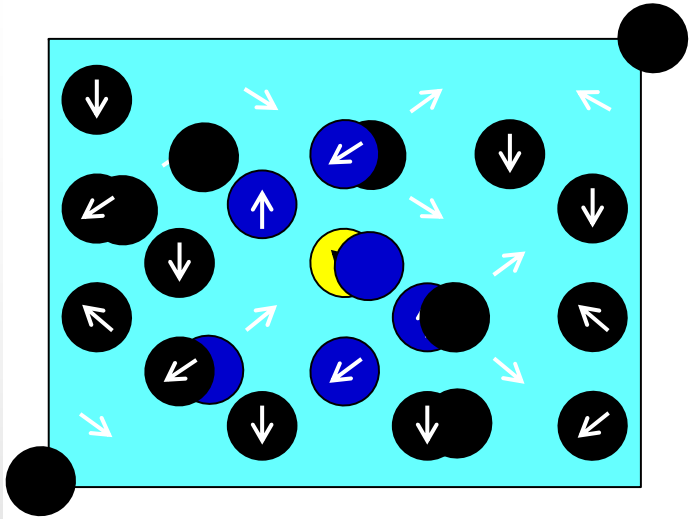


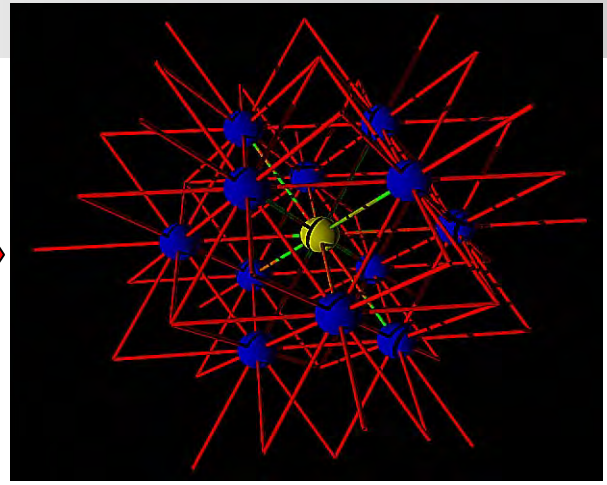
Legend:

1 – collision
2 – blocked particle
3 – cooperative loop

For simulation of complex molecular systems, focused on extraction of dynamic and static properties of simulated materials.

Acceleration of Simulations





Using dedicated processing elements the behavior of each particle can be calculated (modeled!) in parallel, taking into account its closest neighborhood

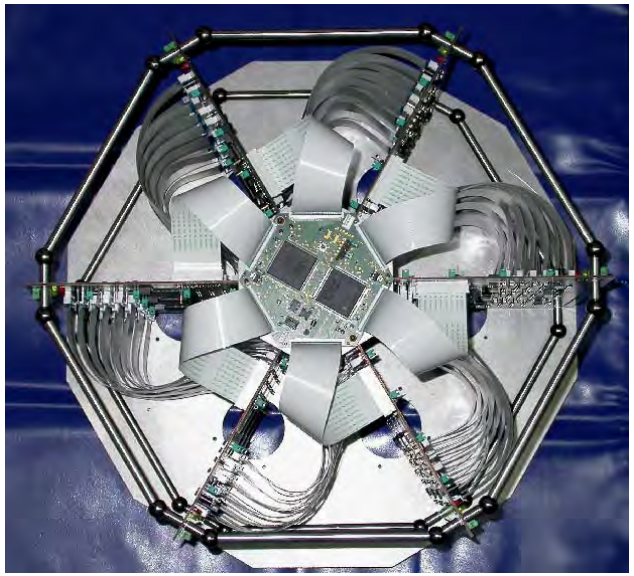
The Best Solution: Reconfigurable Devices
(Digital Chameleons)

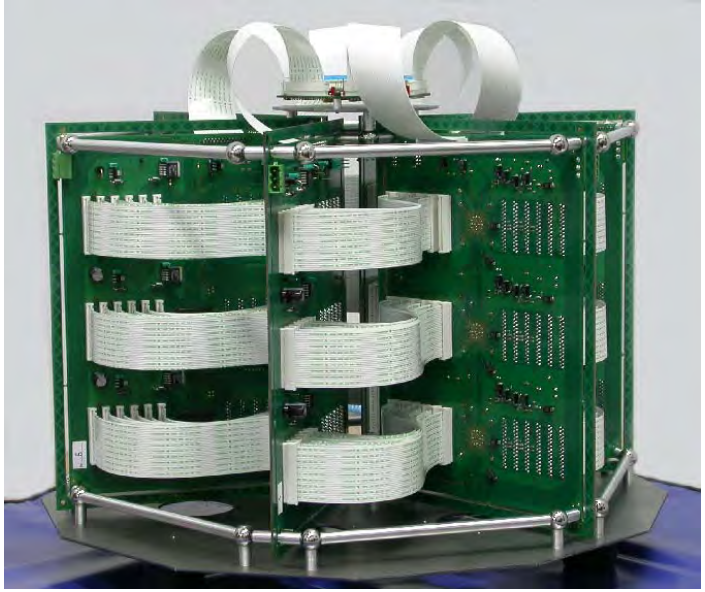
The most popular:
FPGA – Field Programmable Gate Array

First Approach

2006 – 2008: Grant of Polish Ministry of Science and Higher Education: „Implementation of Dynamic Lattice Liquid Algorithm by Means of Dedicated Microprogrammable Computational Cell”, **299 750 PLN**

Result: (μDLL): 6x6x6 = 216 nodes (18 FPGAs)





Scalable Prototype

2009 – 2012: Grant of Polish Ministry of Science and Higher Education:
„Module of Dedicated Computational Cluster for Simulations Based on Dynamic Lattice Liquid Algorithm”, **497 900 PLN**

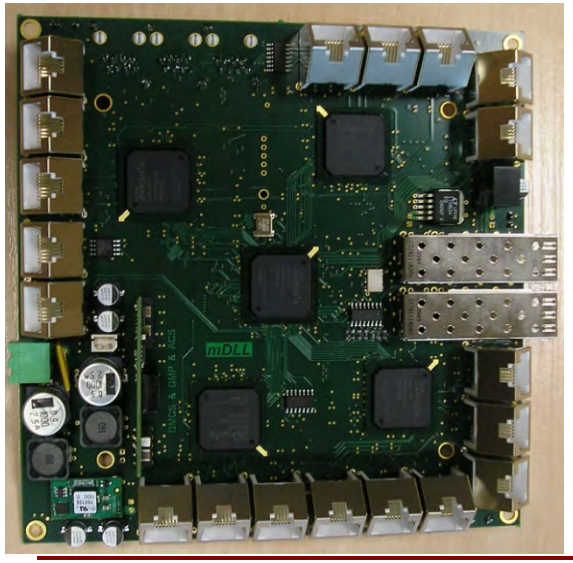
Result (mDLL):

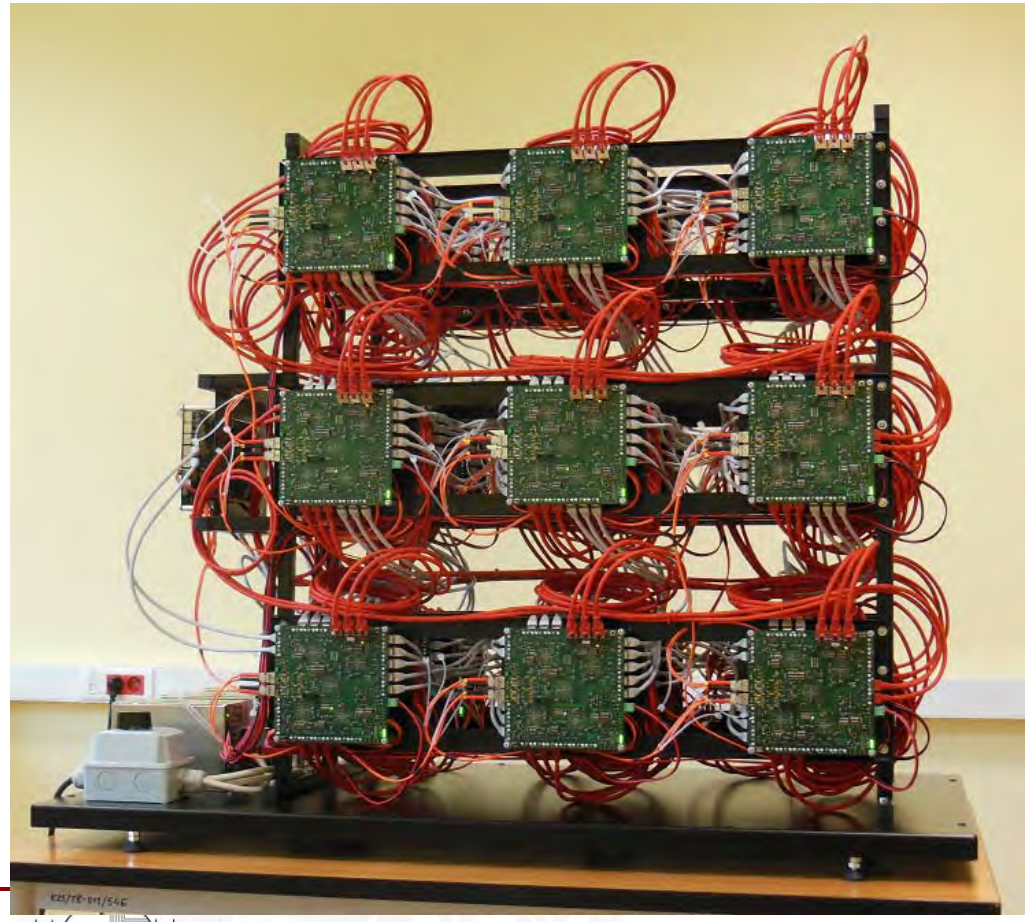
28 modules, 5 FPGAs in each module

(4 for simulations, 1 for controlling),

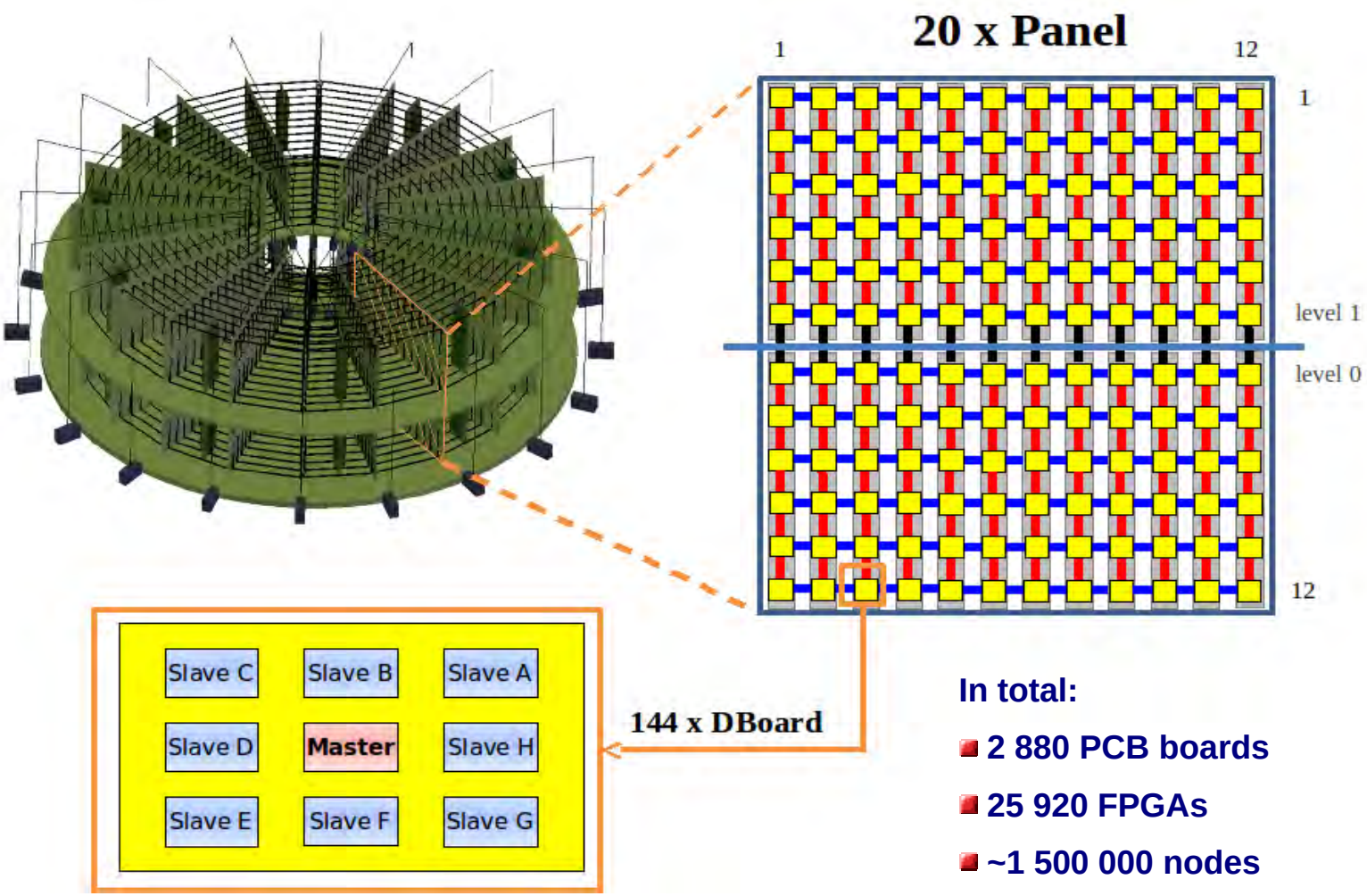
~64 nodes (in each FPGA).

In total: ~1 728 nodes (140 FPGAs)





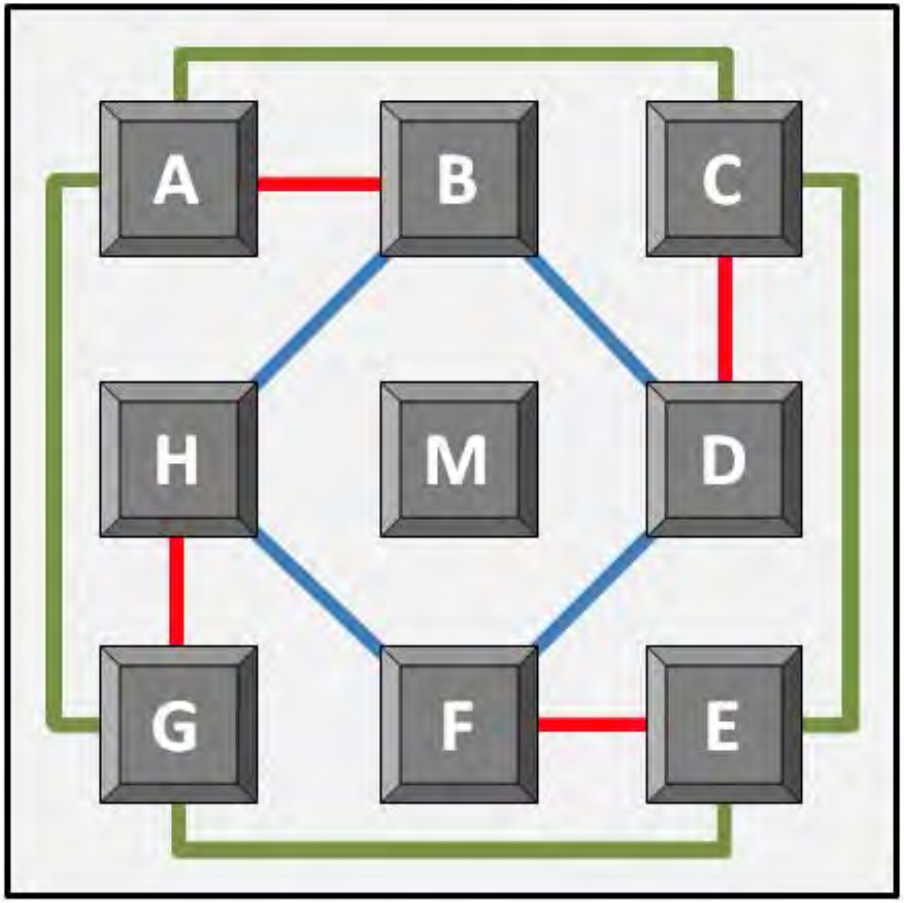
ARUZ

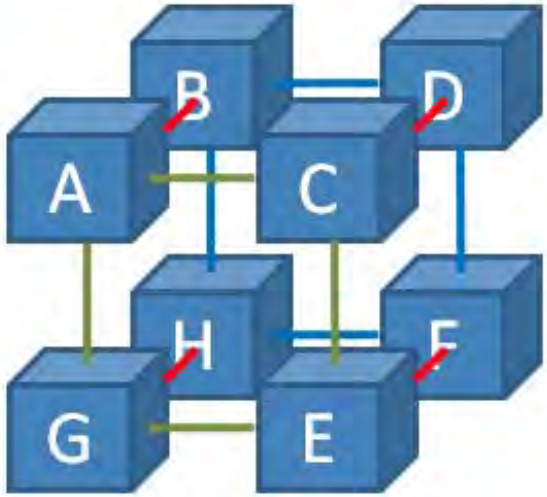


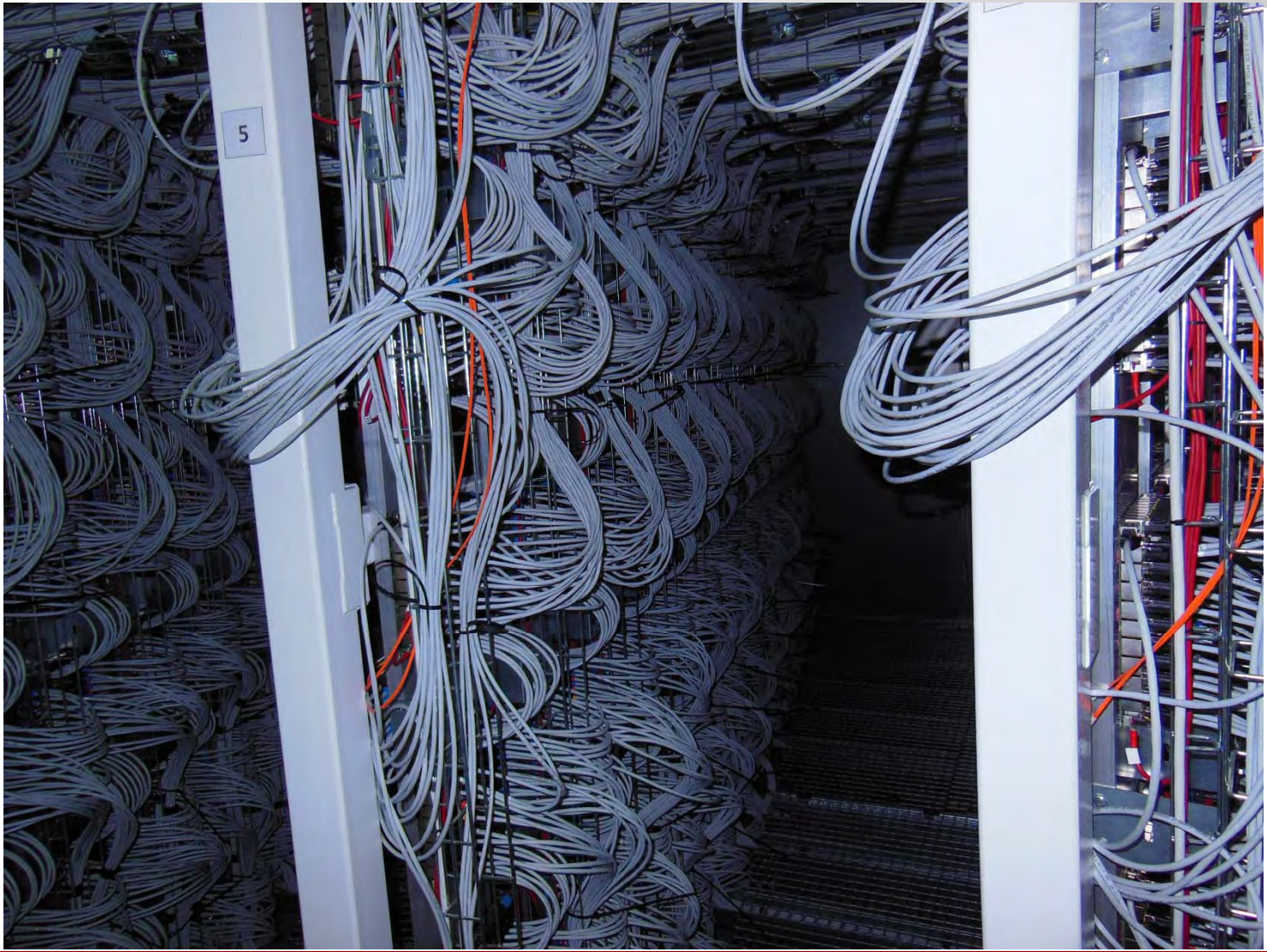
In total:

- **2 880 PCB boards**
- **25 920 FPGAs**
- **~1 500 000 nodes**

DBoard – Segment of 3D Space





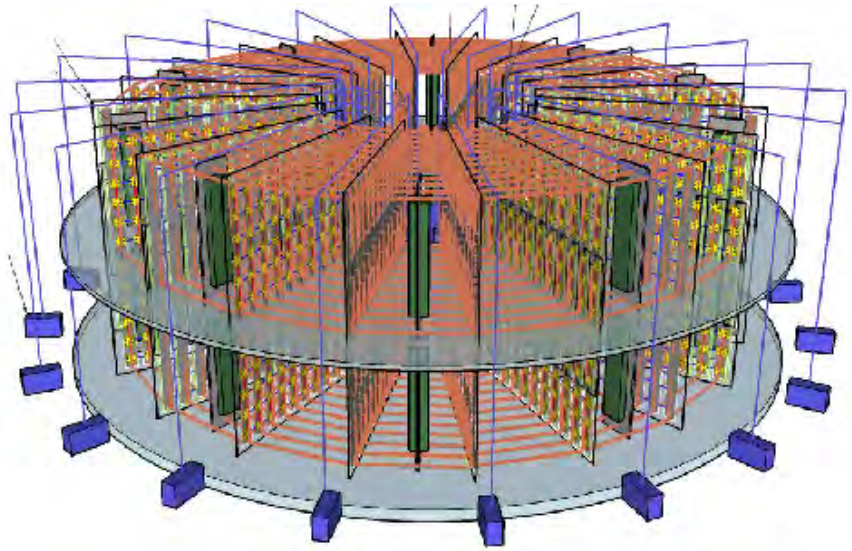

5

ARUZ PSZ-120 12V 150A

ARUZ SG-CE Series 500 kVA PurePulse

Power Consumption / Node

Tianhe-2 (MilkyWay-2):
17.8 MW / 3.12e+6 cores =
= 5.7 W/core



ARUZ:

- 90 kW / 1.3e+6 nodes =
= 0.07 W/node

(80 times less)

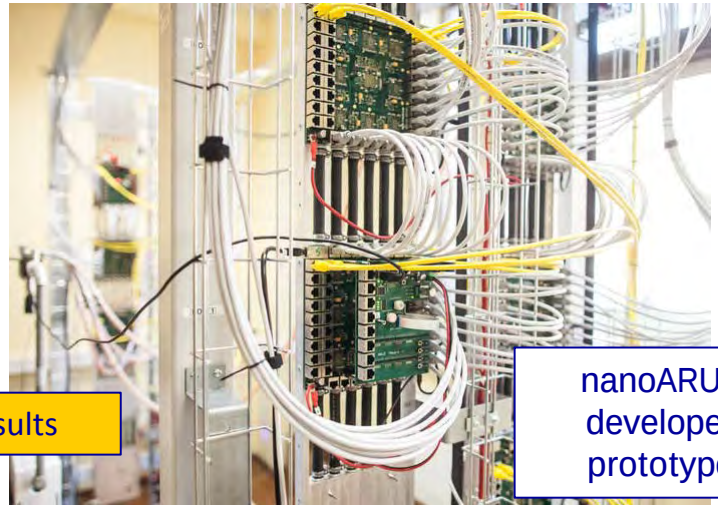
Verification and emulation

Software emulation

0001 1000 1001 1101
1111 0101 1010 1101
0000 1000 0010 0000
1011 1110 1011 0000
1101 1100 1000 0100
0001 1001 1000 1010
1010 1010 1011 1010
0010 0100 1100 1000
1010 0100 0100 1111
0000 1101 0101 0000
1001 0100 1001 0010

DLLDesigner software emulator

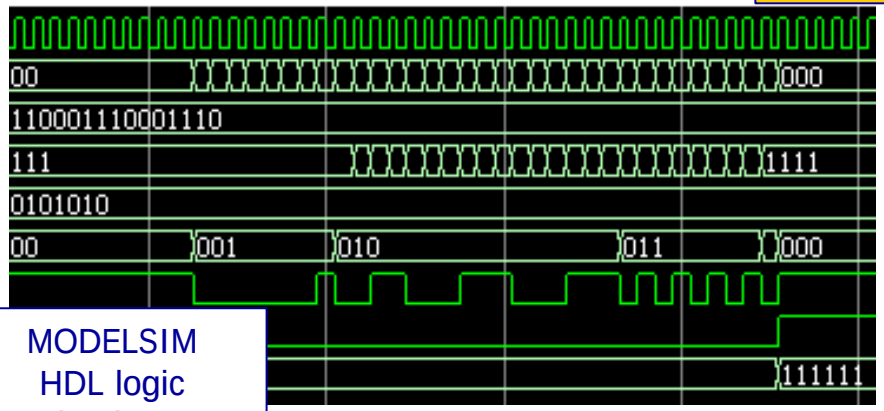
Hardware implementation



nanoARUZ developer prototype

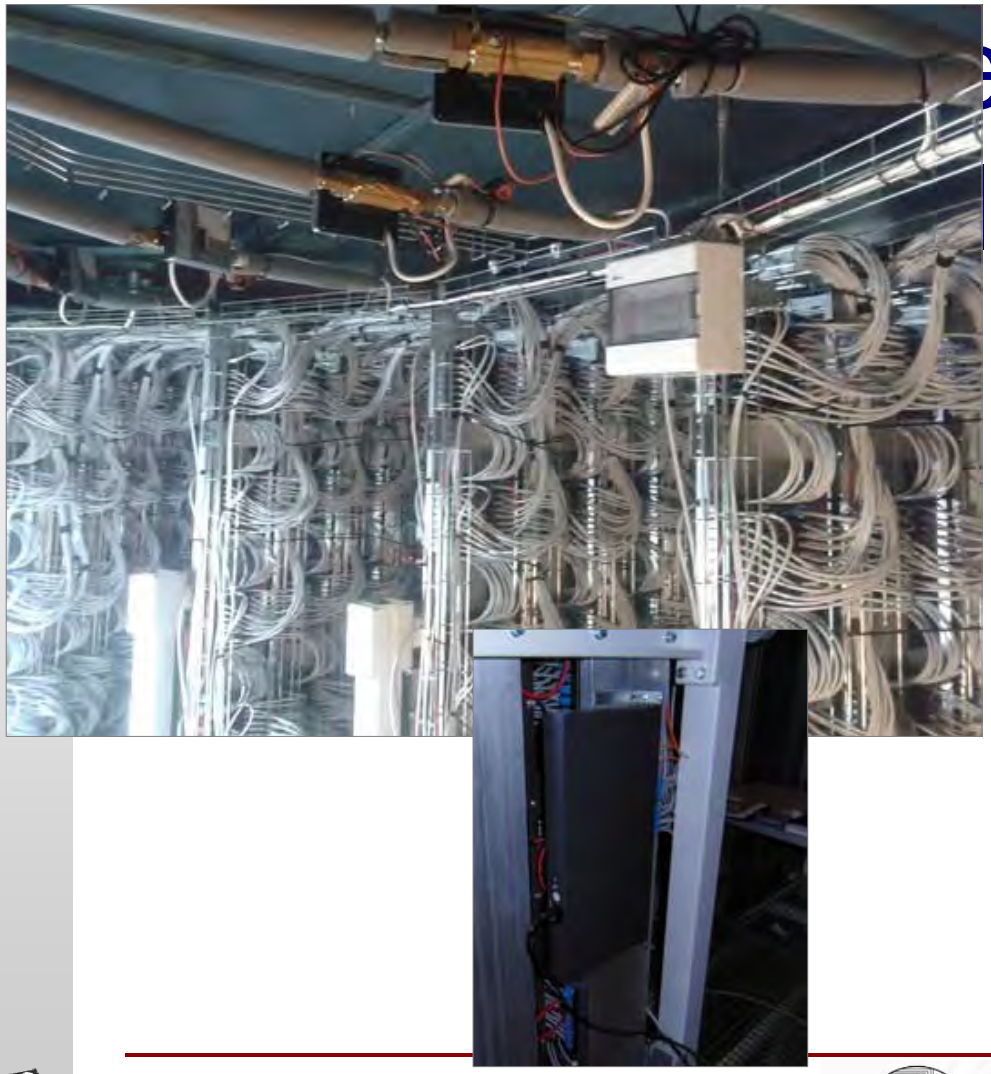
Binary results

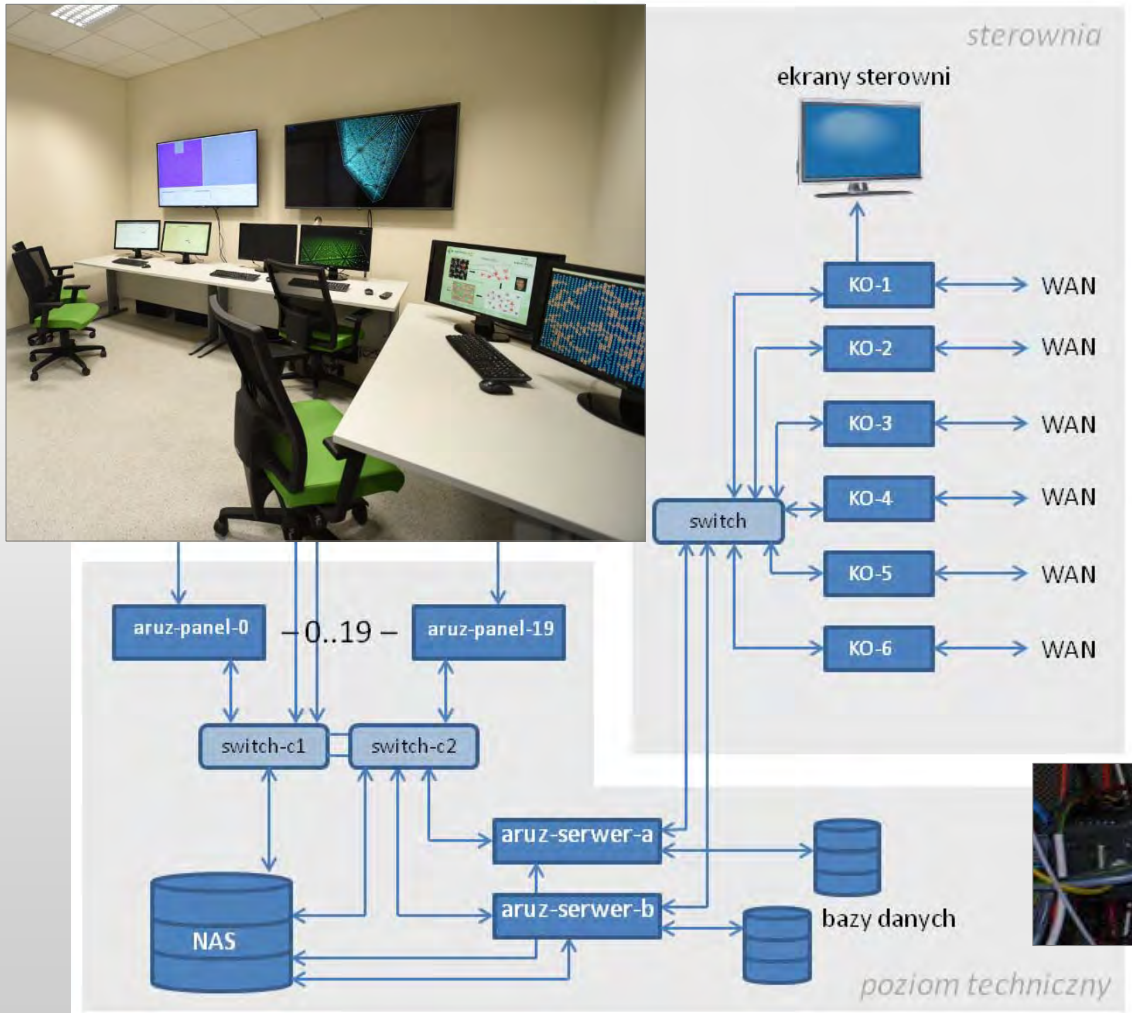
Waveform results

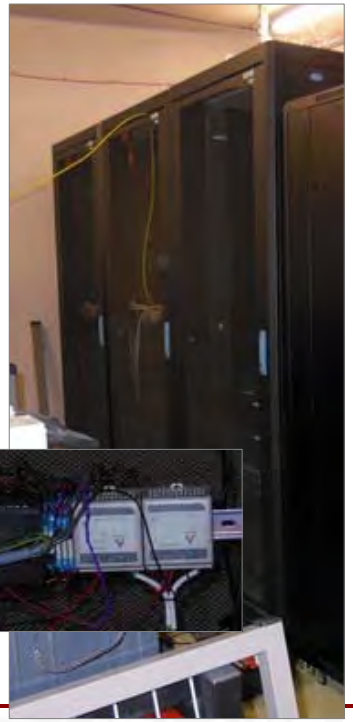


MODELSIM HDL logic simulator

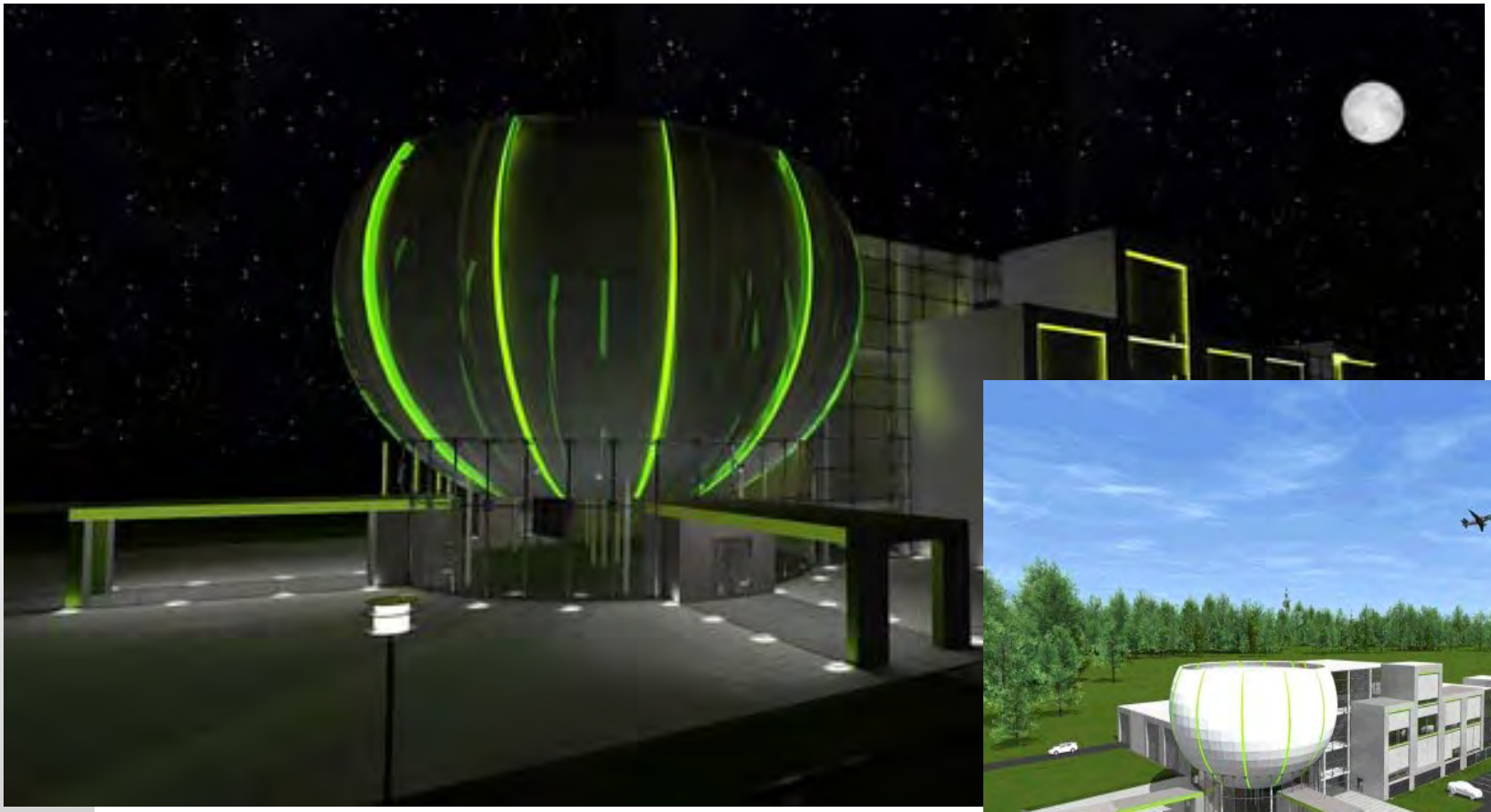
CHIPSCOPE Integrated Logic Analyzer

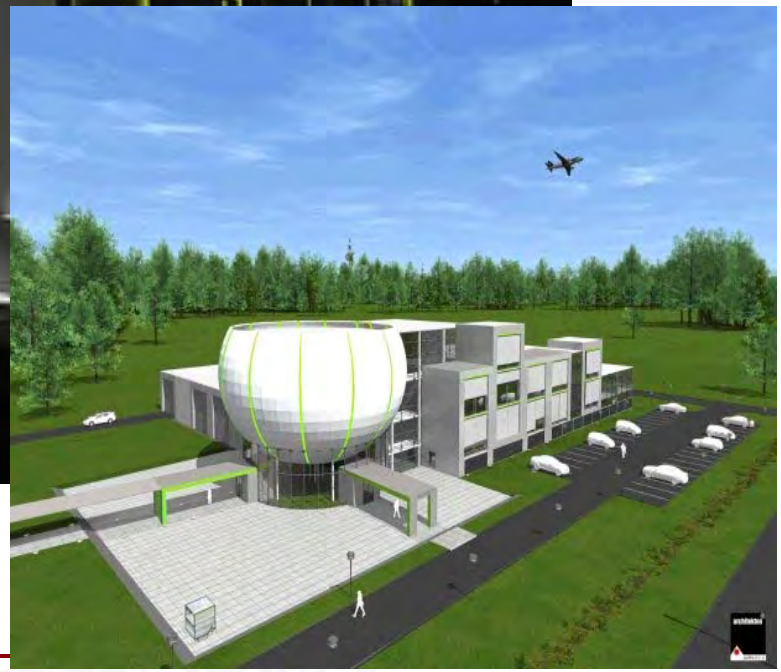



sterownia
ekrany sterowni
KO-1
KO-2
KO-3
KO-4
KO-5
KO-6
WAN
WAN
WAN
WAN
WAN
WAN
switch
aruz-panel-0
– 0..19 –
aruz-panel-19
switch-c1
switch-c2
aruz-serwer-a
aruz-serwer-b
NAS
bazy danych
poziom techniczny



ARUZ in TechnoPark - Visualizations





ew
ing,
of
h

Some Numbers

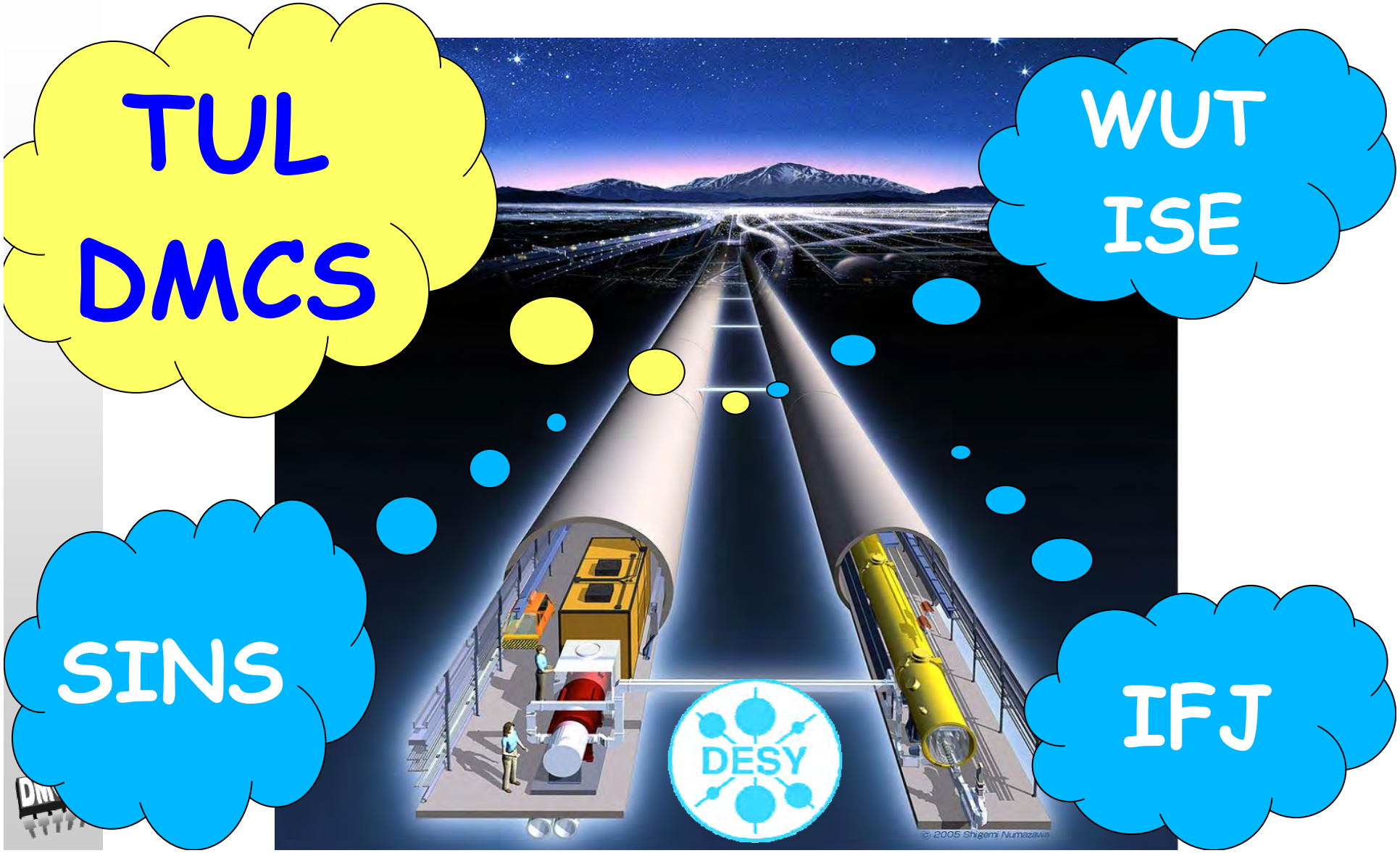
Aruz	1
UPS 500 KVA	1
Levels	2
Number of Panels	20
Number of radiators	480
Power supplies (produced according to specific requirements)	1200
Electronic boards	3023
FPGA integrated circuits	30 000
Modified Ethernet Cables	80 000

- Everything designed for ARUZ, just single electronic elements were available on the market

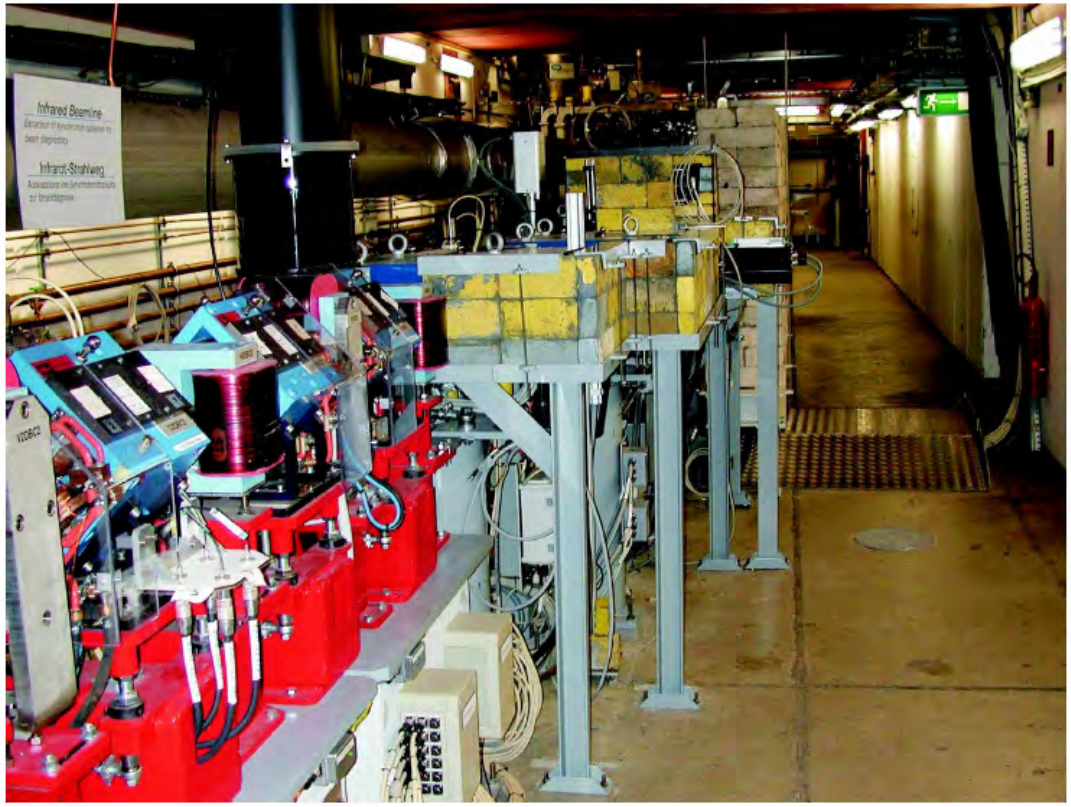
52 tons !

Od XFEL do ITER

XFEL - Cooperation with DESY

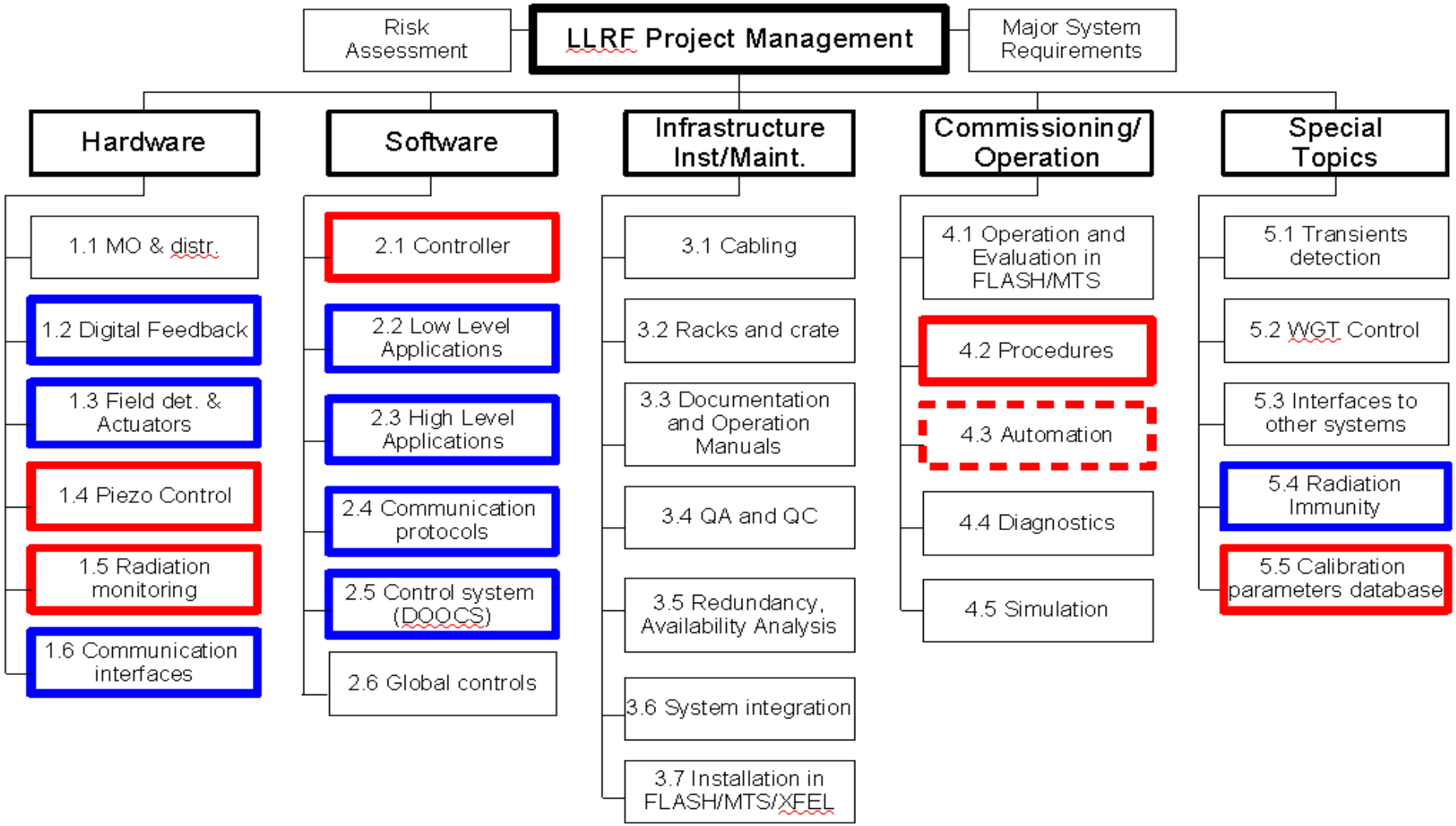


FLASH accelerator at DESY

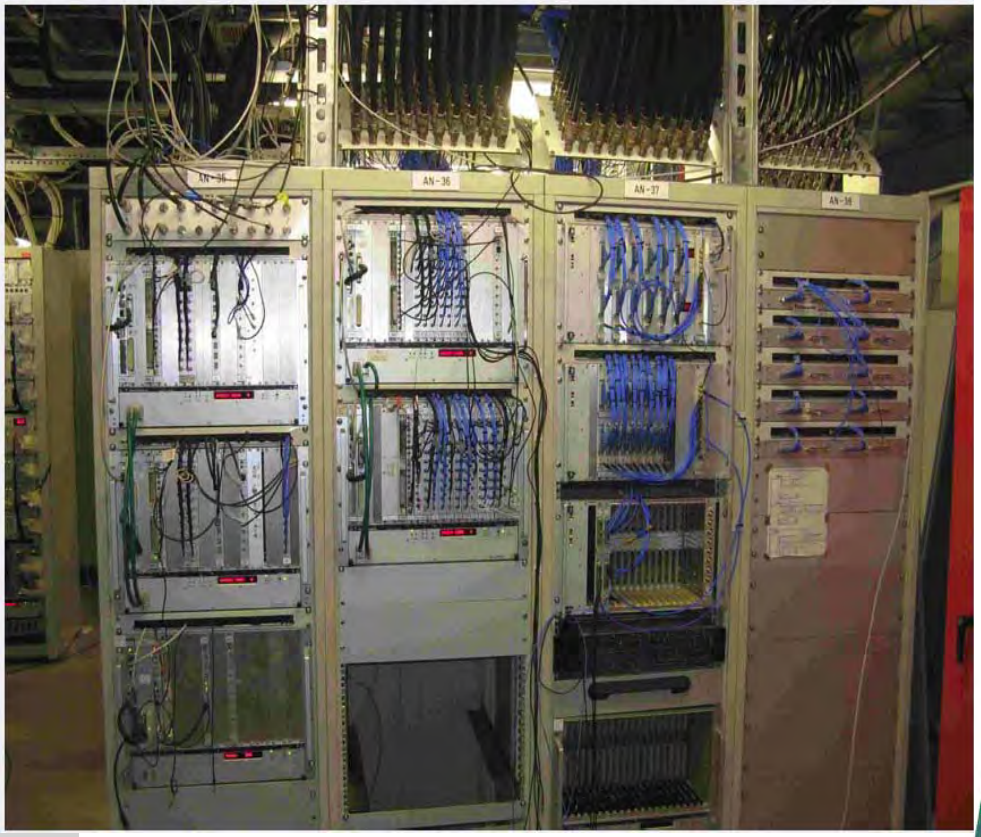


DMCS and XFEL project

2007-2013 (7 years)

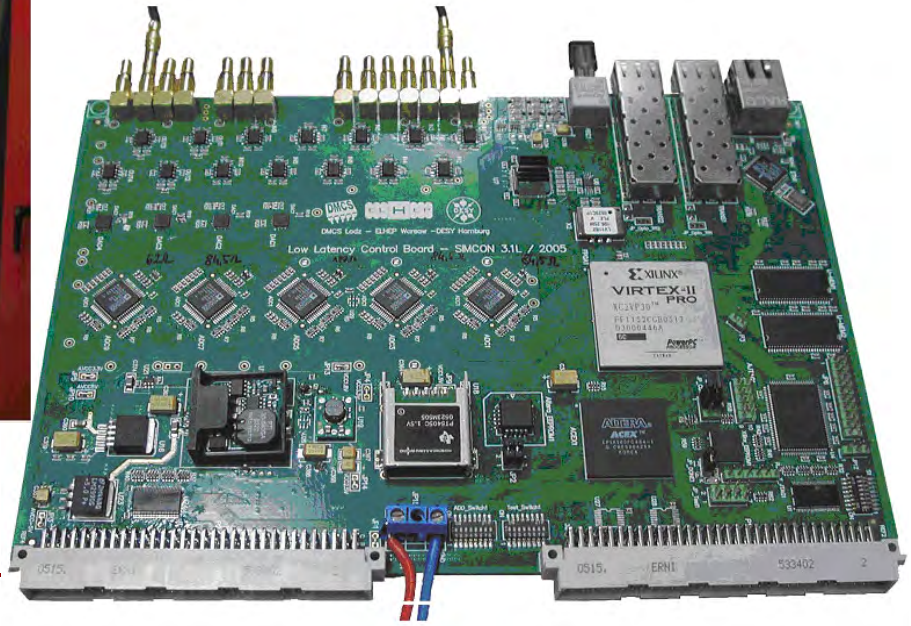


LLRF control system of linear accelerator

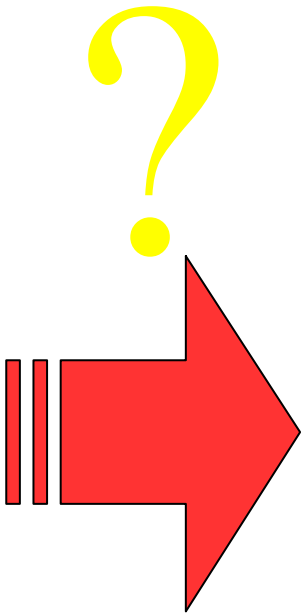


LLRF control system of FLASH, DESY

SimCon 3.1L controller



How to improve reliability of LLRF control system ?

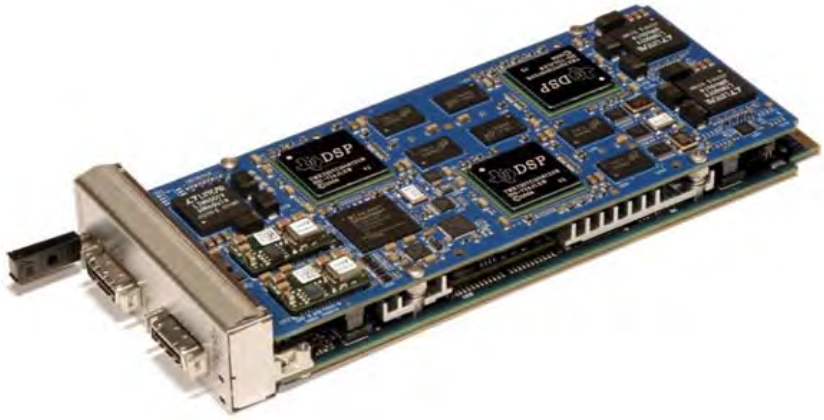


VME standard

ATCA standard

Current work

- Develop ATCA-based LLRF control system for FLASH accelerator



- Prepare requirement and LLRF docummentation (mainly in Enterprice Architect)

Nuclear Fusion as Source of Unlimited Energy

Research and Development

in collaboration with ITER Organisation

Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

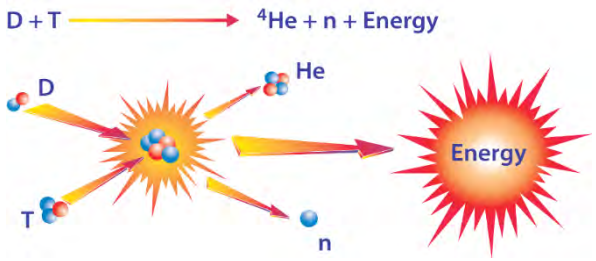
Motivation

Since ages people are looking for a safe method to produce electricity

–Fossil fuel steam plant

–Nuclear power plant (fission)

–Fusion power plant

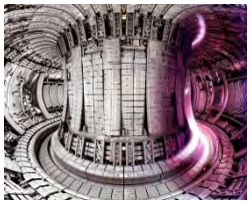


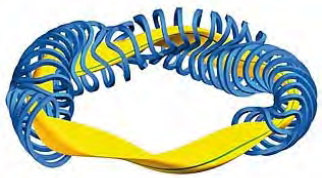
Research at Department of Microelectronics and Computer Science

–Methodology to design complex, hardware, software and firmware for distributed control and DAQ systems for large scale physics

» Tokamaks

» Stellarators



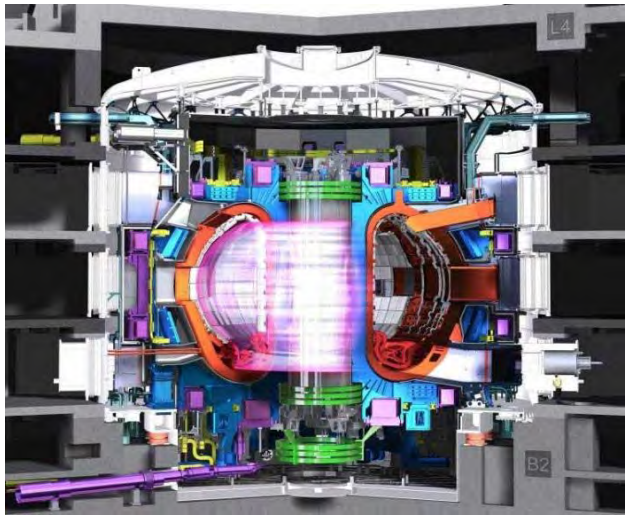


Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

ITER – the Largest Tokamak in the World

ITER goals:

- Demonstrate feasibility of fusion for energy production
- Build 500 MW fusion reactor, input power 50 MW (Q=10)
- First plasma scheduled in ~2025, first D-T plasma in ~2035



ITER tokamak:

- Cost of ITER project: ~30 Billion Euro
- Superconducting coils with magnetic field: 12 T
- More than 160 various instrumentation and control systems

ITER – the Largest Tokamak in the World

Cost of ITER project:

•~21 Billion Euro (wstępnie)

Tokamak weight:

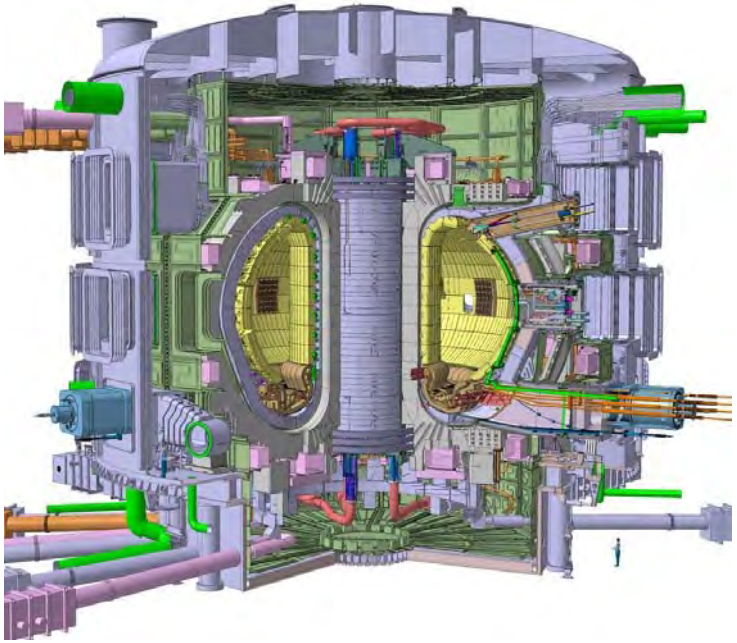
•23.000 tons

Size of the Tokamak:

•29 m high x 18 m diameter

Plasma temperature:

•100-200 million ^{0}C



Superconducting coils with magnetic field: **12 T**

More than **160 various** instrumentation and control systems

ITER Project

Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

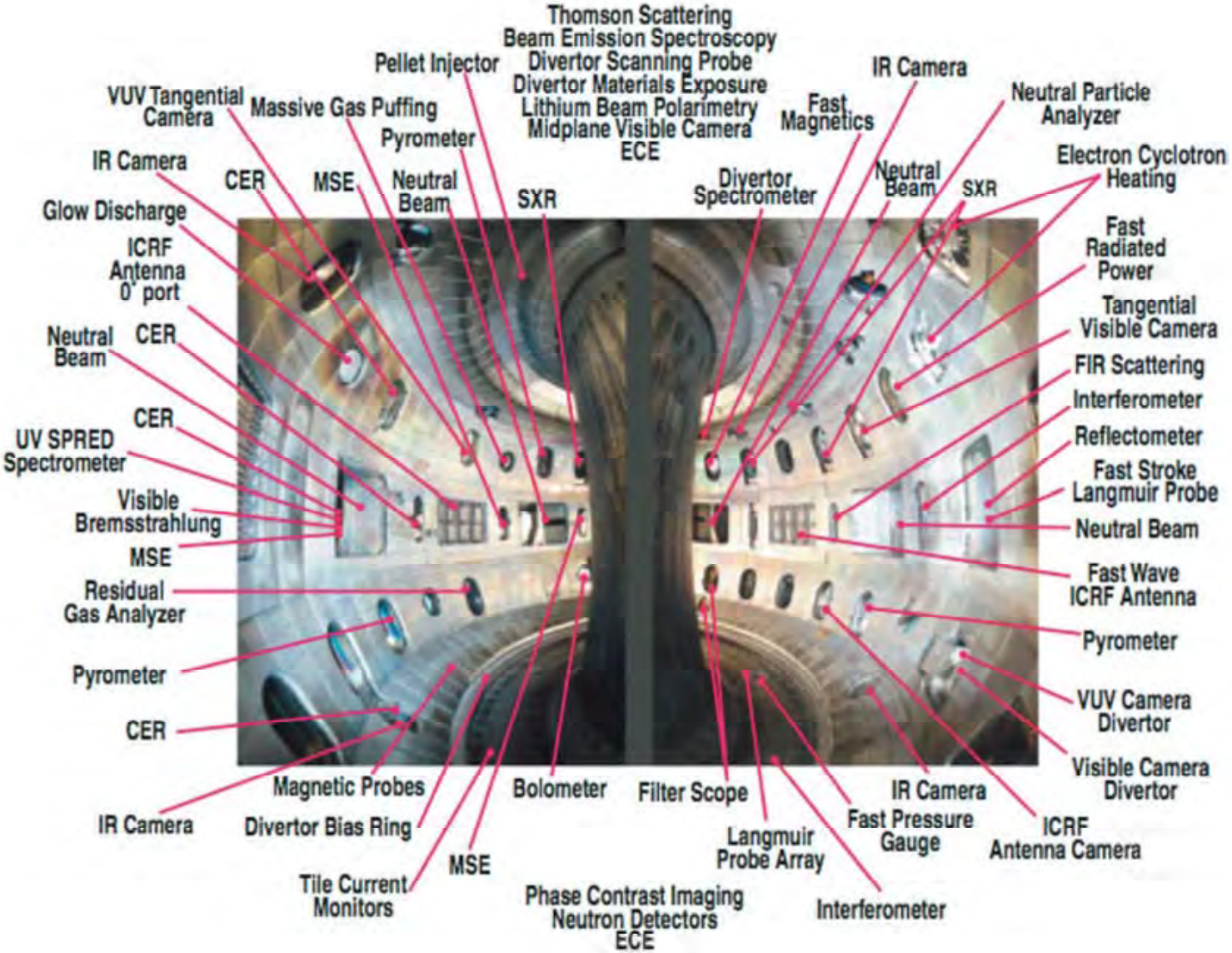
ITER – Construction in Progress

Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

Collaboration with ITER

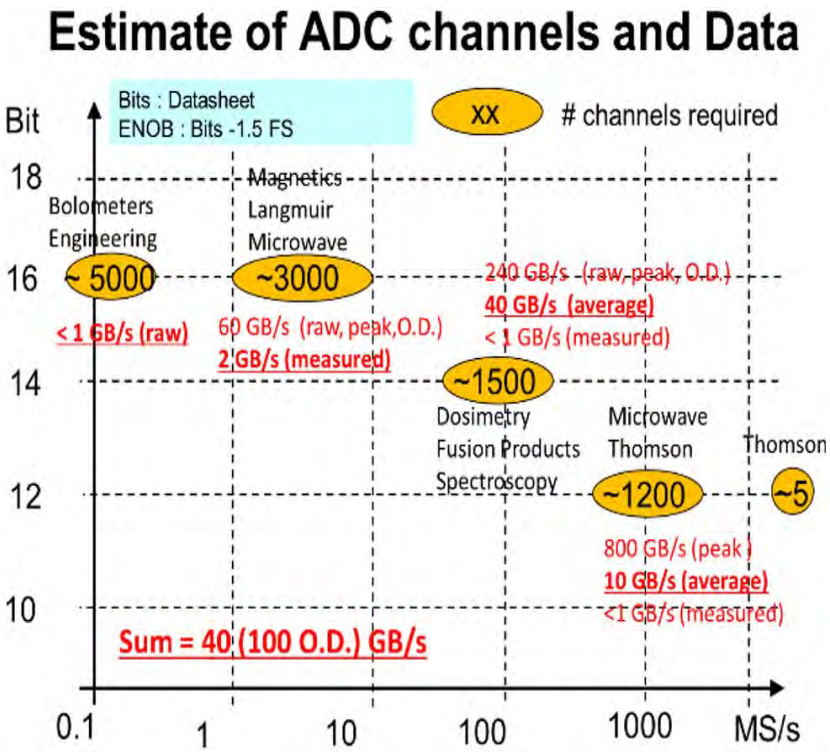
- We collaborate with ITER since 2008
- The area of the work covers:
  - development, design, evaluating and testing complex data acquisition and control systems for plasma diagnostic application
  - ITER tokamak Instrumentation and Control systems
- Volume of all contracts ca. EUR 4 mln
- Consortium with Cosylab, d. d. partner

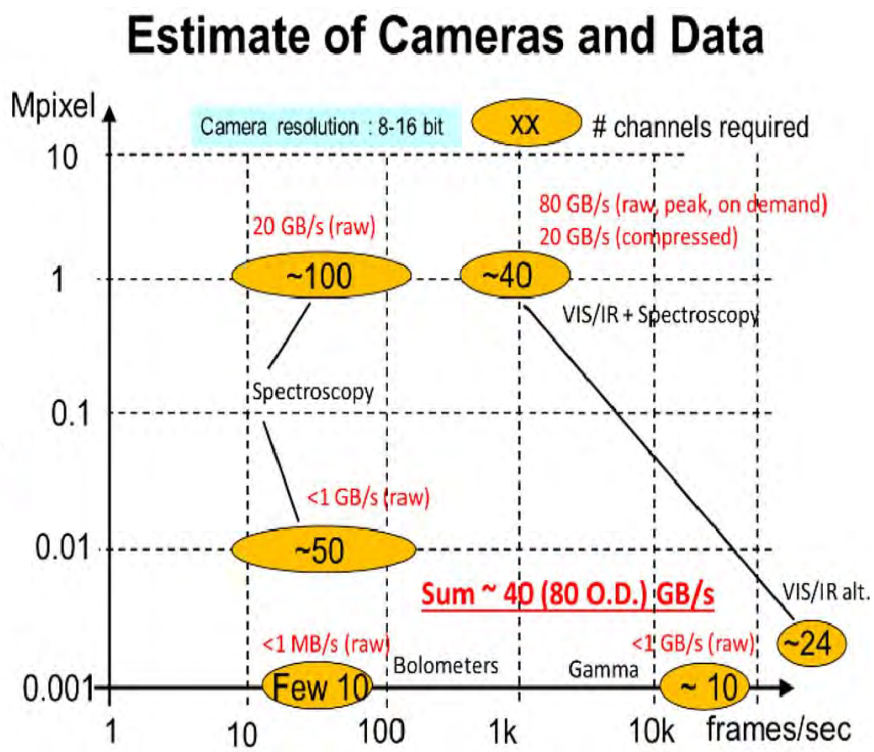
Tokamak Instrumentation and Diagnostic Systems



Large Number of DAQ Channels

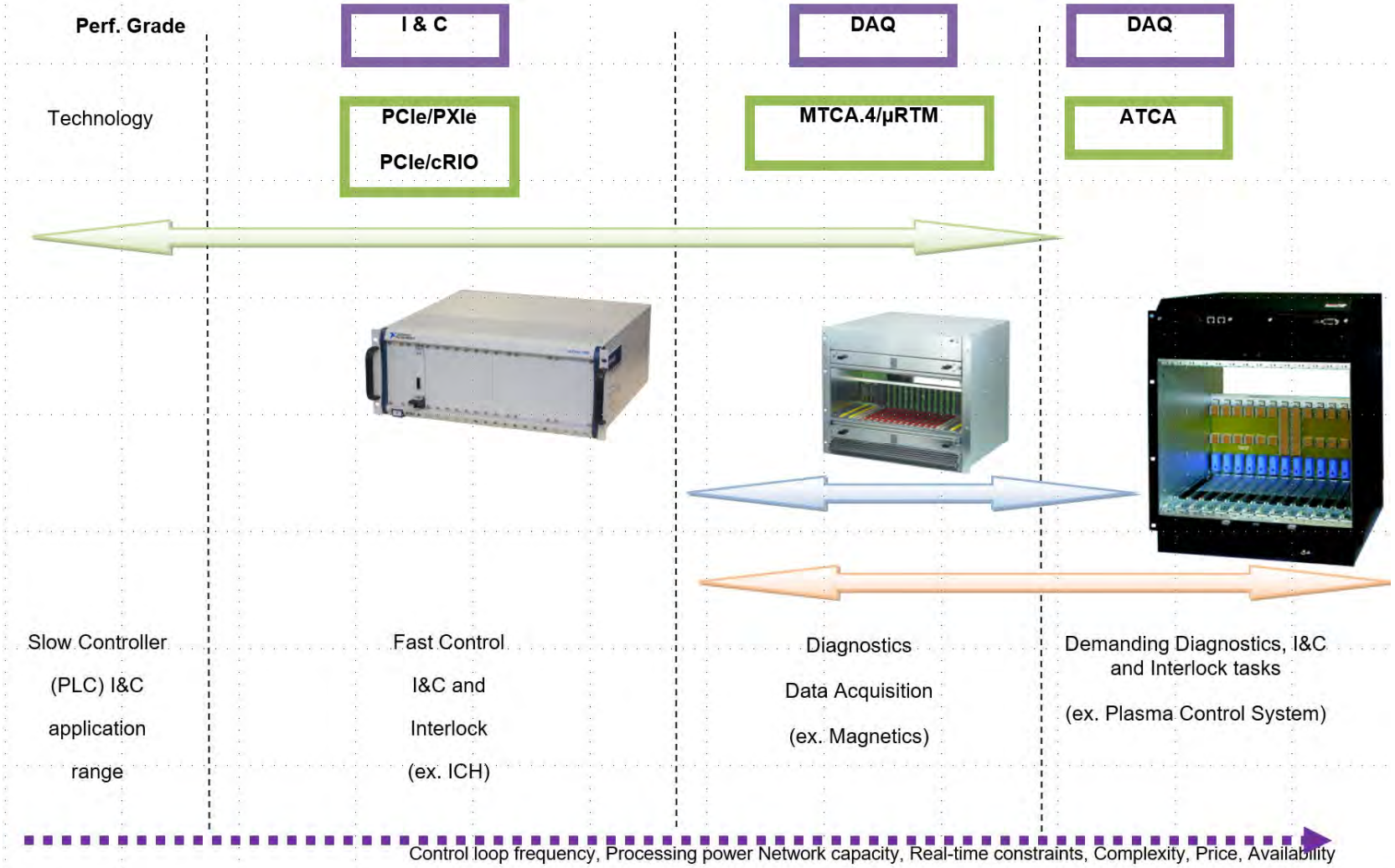
- Plasma diagnostics and control
- Digital and analogue signals, digital cameras





Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

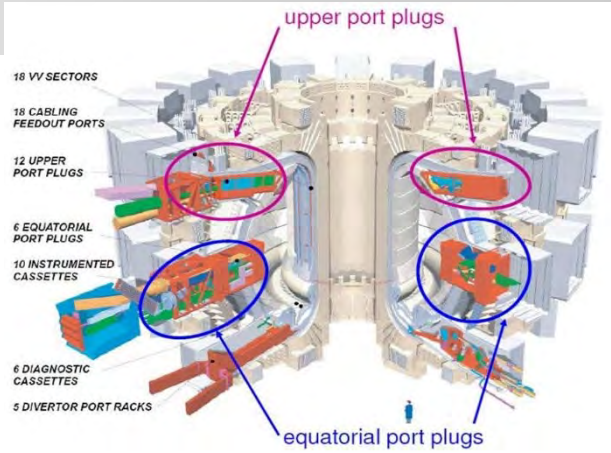
Data Acquisition and Processing



Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

Challenges

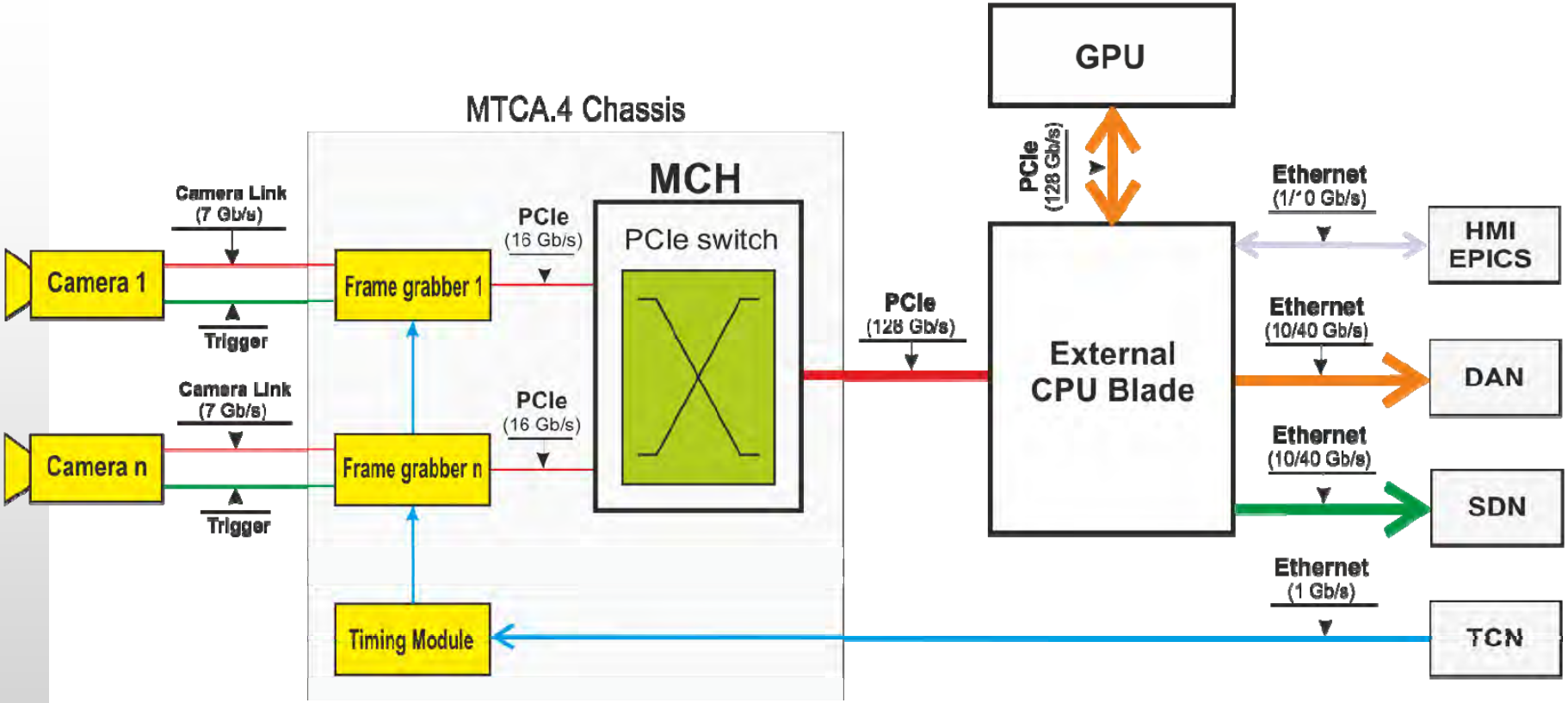
- Plasma diagnostics:
  monitor plasma temperature, density, radiative properties, first-wall resilience



- 200 cameras:
  - 1-8 Mpx @ **50-50000 FPS**
  - Throughput can easily exceed 8 Gb/s per camera
  - Scalability and high reliability
  - 50 ns synchronization accuracy

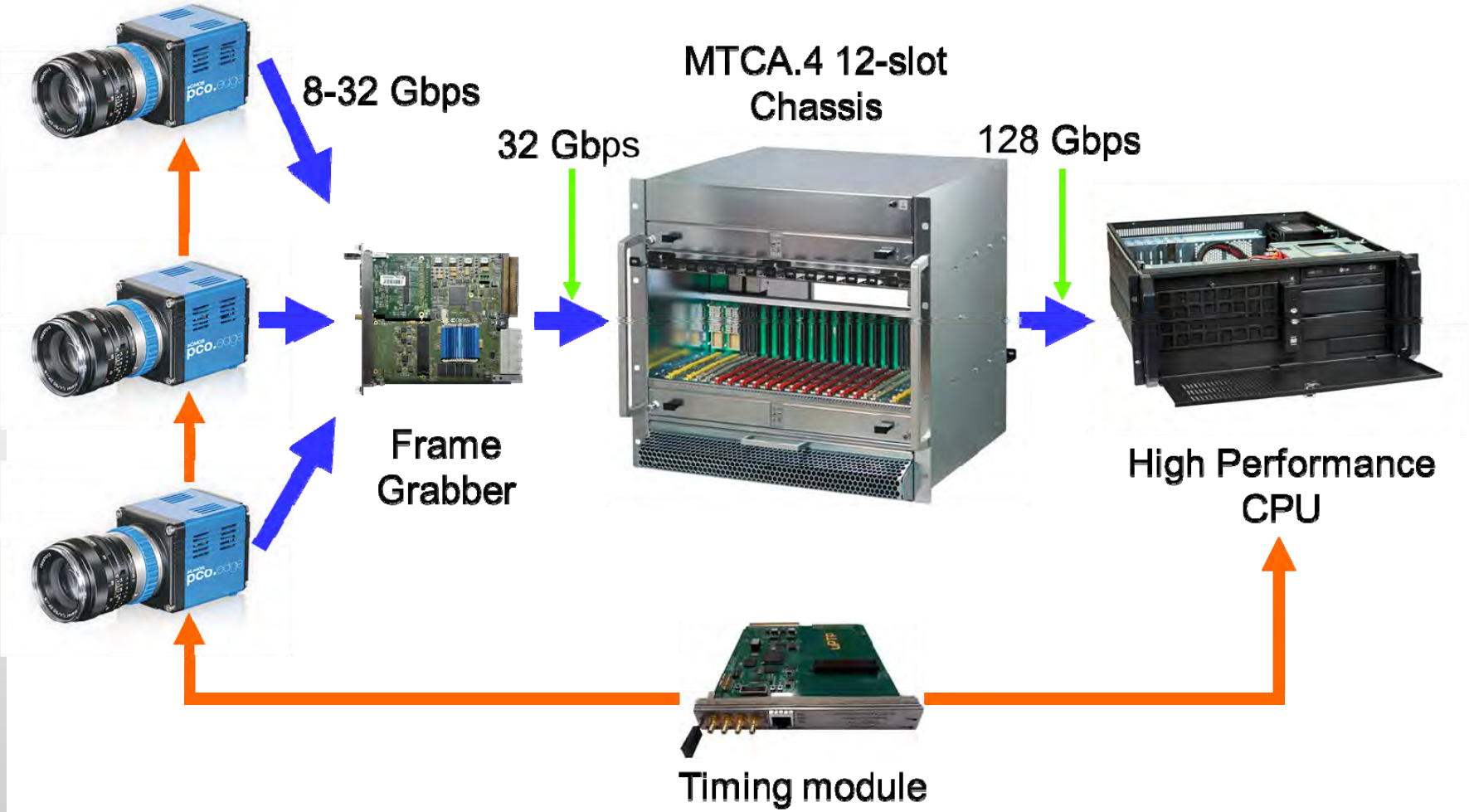
Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

Image Acquisition and Processing



Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

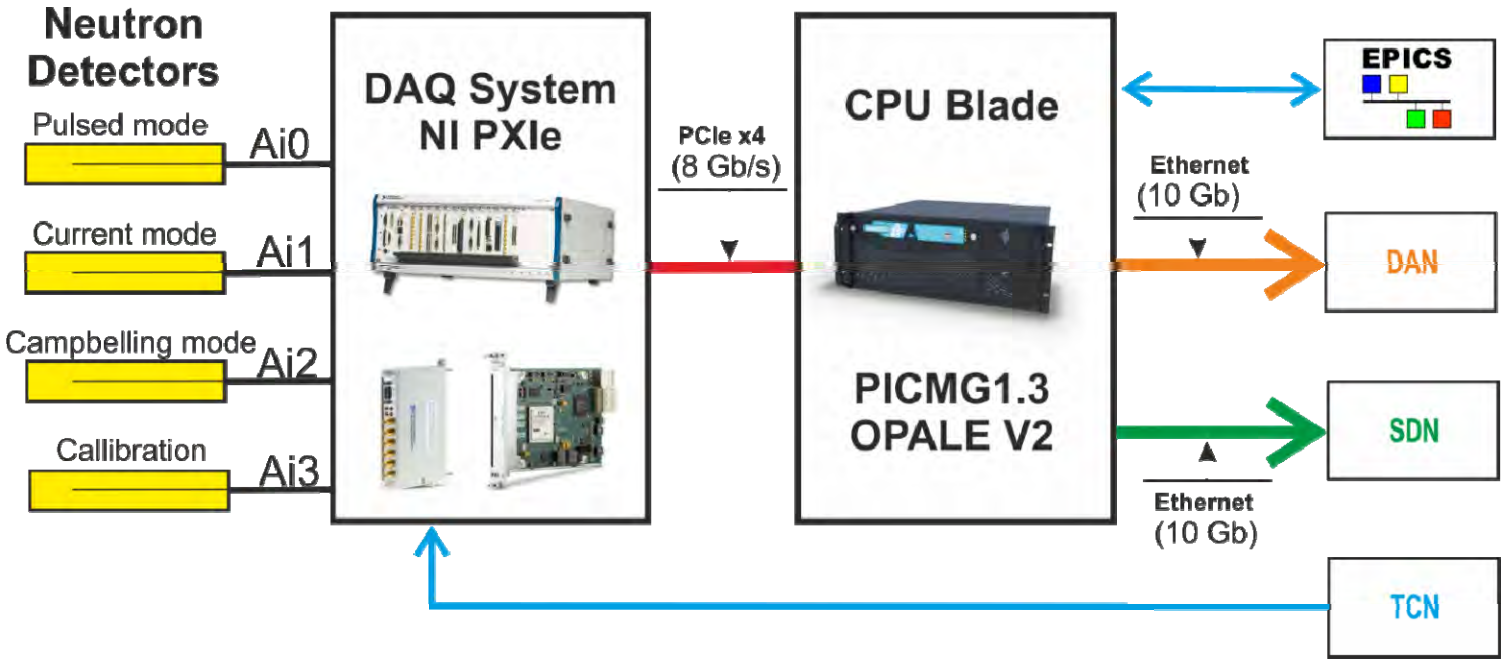
Implementation with MicroTCA.4



Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

Divertor Neutron Flux Monitor

- Protect tokamak divertor
- Neutron detectors
- Real time data acquisition and processing
- Developed with NI PXIe 250 MSps ADC



Department of Microelectronics and Computer Scienceul.Wólczańska 221/223 90-924 Łódź tel: 042 631-26-28
fax: 042 631-03-27mali: secretary@dmcs.p.lodz.pl

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ