

JT-60SA és EDICAM: Az új szupravezető tokamak és a Wigner-es kamera találkozása

Nemzetközi fúziós kutatások

- EUROfusion: Fúziós útiterv
- Broader Approach

A JT-60SA tokamak

- Célja
- Építés

EDICAM: A magyar hozzájárulás

- Design és megvalósítás
- Példák használatra

Szepesi Tamás

Cseh G., Kocsis G.,
Szabolics T.,
Zoletnik S.

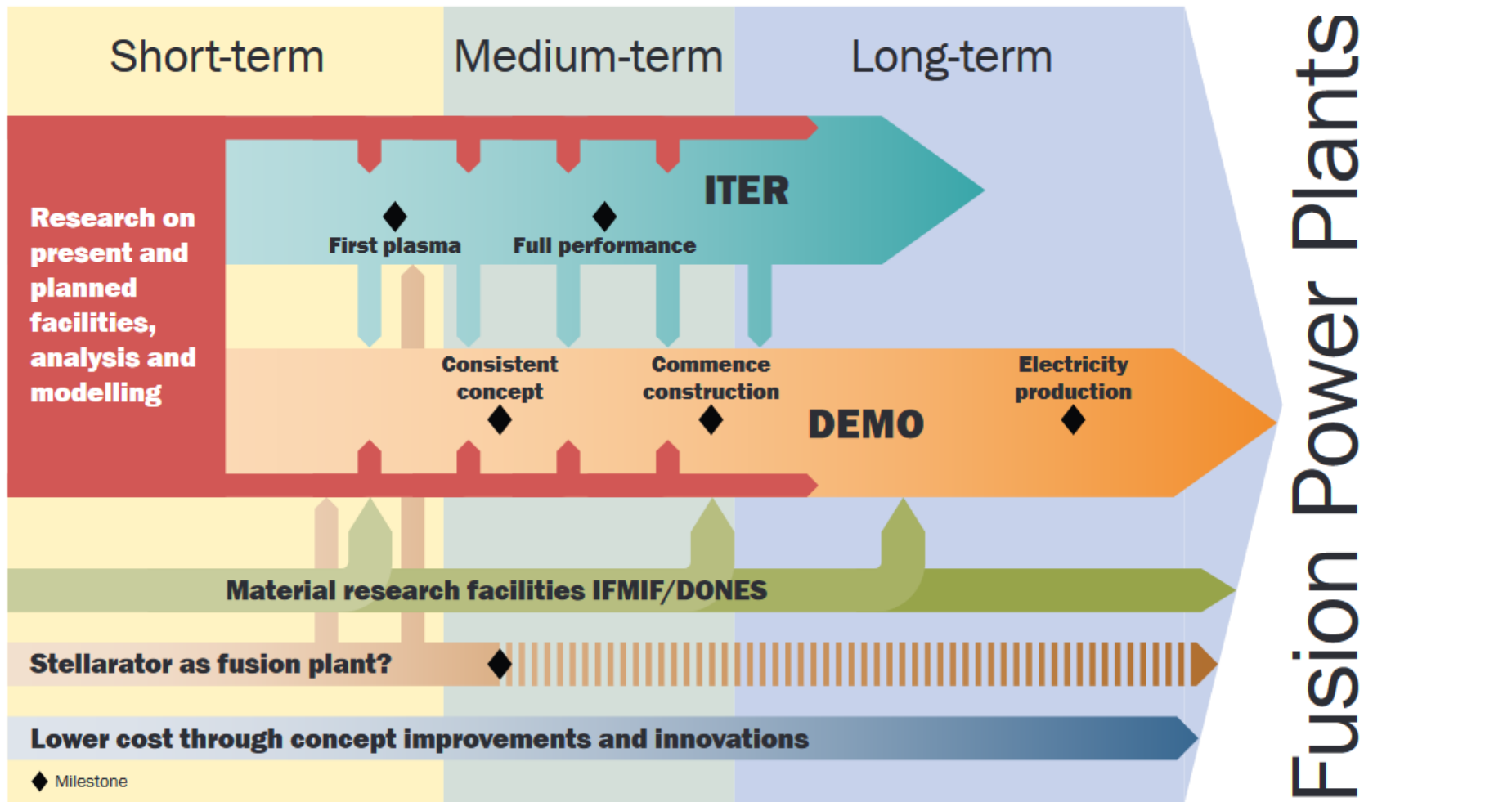
Külön köszönet:

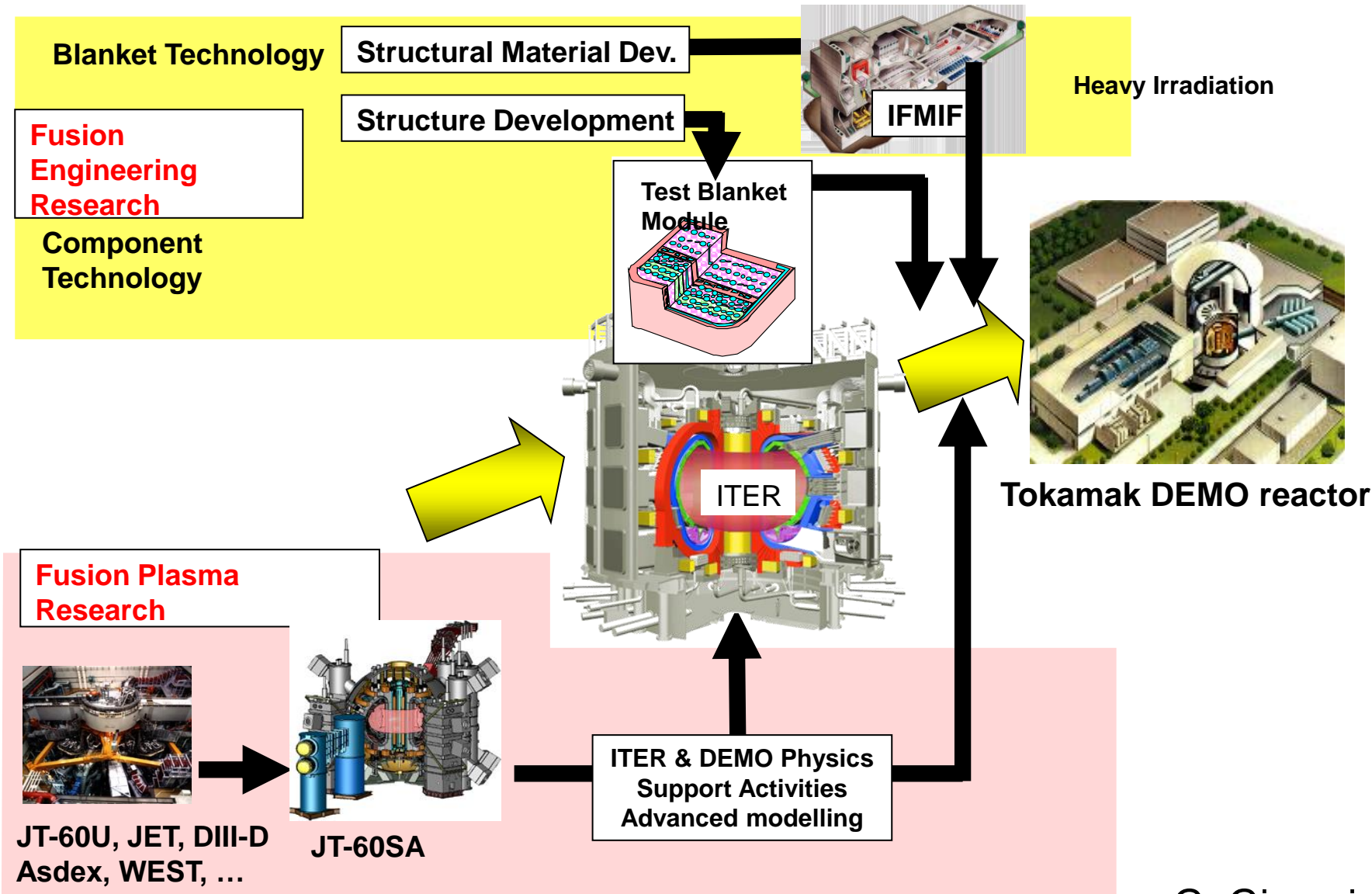
G. Giruzzi, C. Sozzi

K. Kamiya, N. Oyama, H. Homma

Európai összefogás a fúziós energiatermelés megvalósításához

- 30 kutatóintézet és egyetem, 27 országból





G. Giruzzi

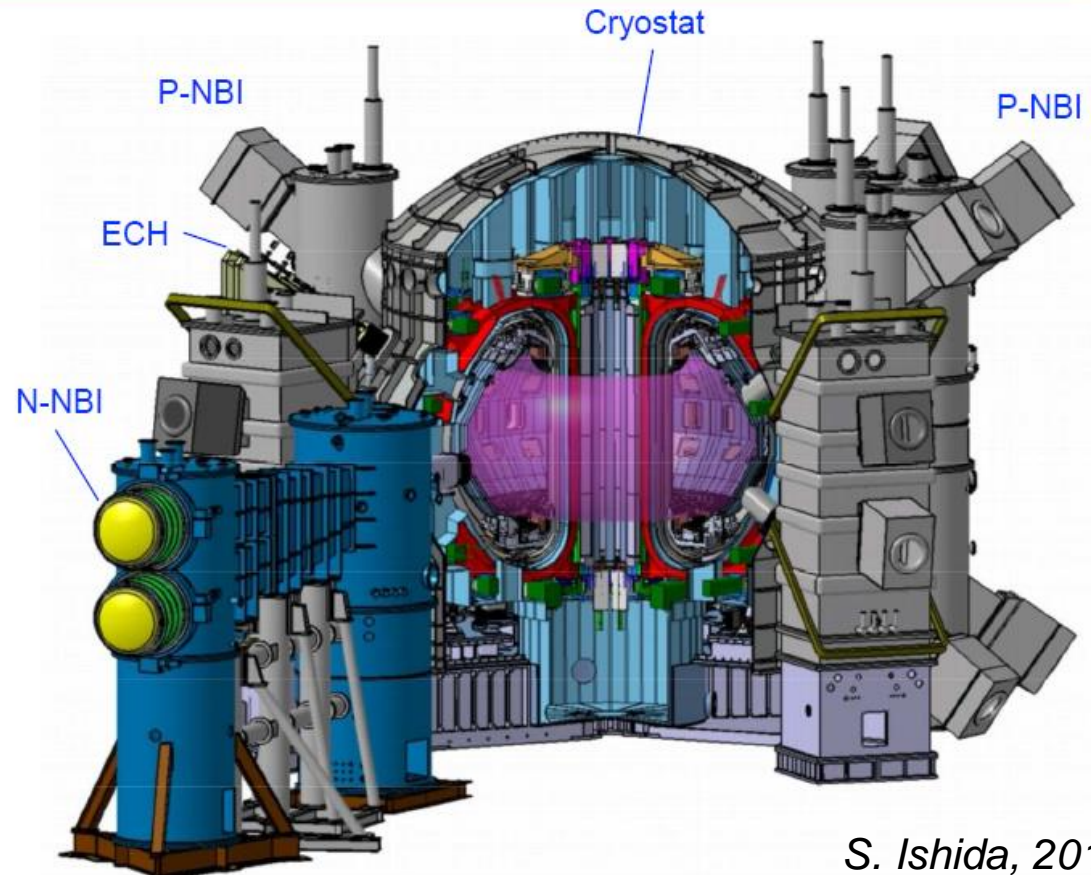
- **Az ITER telephely kiválasztásáról szóló tárgyalások** során egyezmény született az EU és Japán között
- A “Broader Approach” egyezményt 2007. február 5-én írták alá Tokióban, **10 éves időtartamra (megújítható** → BA Phase II, 2020. április 1-jétől)
- A közös tervezet három projektet tartalmaz:
 - 1) *A fúziós reaktorokhoz szükséges anyagok besugárzásos vizsgálatára létrehozandó intézmény (International Fusion Materials Irradiation Facility, IFMIF/EVEDA),*
 - 2) *International Fusion Energy Research Centre (IFERC),*
 - 3) *Satellite Tokamak Programme (STP) ↔ JT-60SA Project.*
- **Elsődleges cél:** olyan ITER-es eredményeket kiegészítő kutatások megvalósítása a plazmafizika és technológia területén, amelyek a DEMO-hoz szükségesek
- Az egyes felek hozzájárulása: € 339 millió összesen a három projektre, természetben
- Európa része: **önkéntes alapon**, Franciaország, Olaszország, Spanyolország, Németország, Belgium, valamint a Fusion for Energy

Mission of the JT-60SA project is to contribute to the early realization of fusion energy by its exploitation to support the exploitation of ITER and research towards DEMO, by addressing key physics issues for ITER and DEMO.

Basic machine parameters

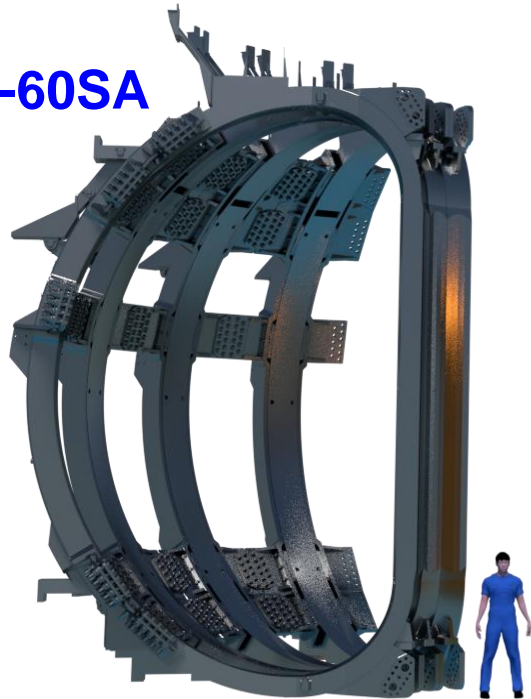
| | |
|---------------------------|----------------------|
| Plasma Current | 5.5 MA |
| Toroidal Field, B_t | 2.25 T |
| Major Radius, R_p | 2.96 |
| Minor Radius, a | 1.18 |
| Elongation, κ_X | 1.95 |
| Triangularity, δ_X | 0.53 |
| Aspect Ratio, A | 2.5 |
| Shape Parameter, S | 6.7 |
| Safety Factor, q_{95} | ~ 3 |
| Flattop Duration | 100 s |
| Heating & CD Power | 41 MW |
| N-NBI | 10 MW |
| P-NBI | 24 MW |
| ECRF | 7 MW |
| Divertor wall load | 15 MW/m ² |

* $S = q_{95} I_p / (a B_t)$



S. Ishida, 2011

JT-60SA



JET



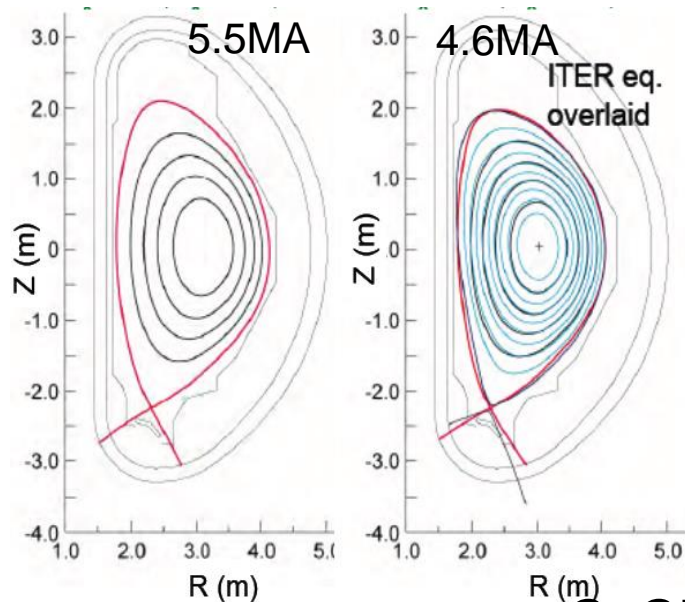
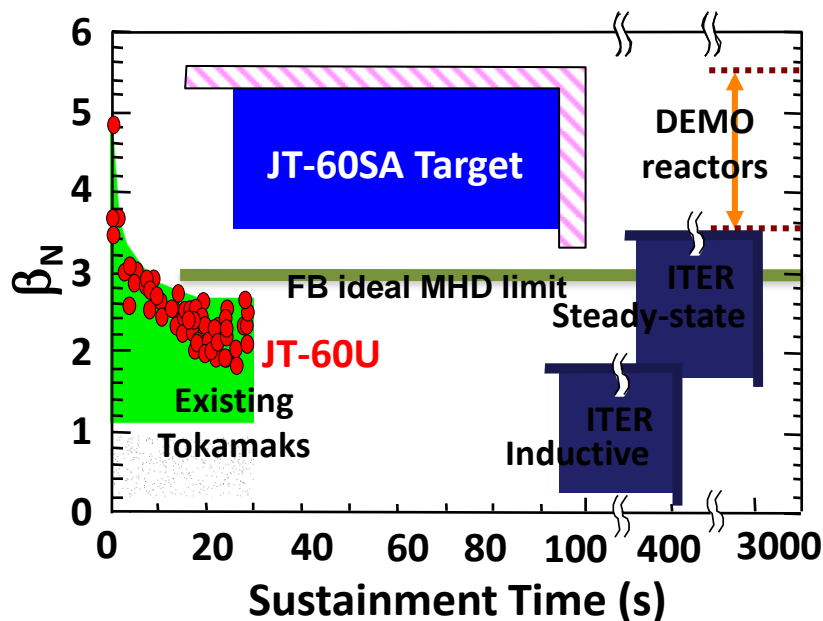
ITER



G. Giruzzi

JT-60SA: nagyméretű szupravezető tokamak, deutérium plazma ($I_{p-max}=5.5$ MA), a kisülés időtartama (tipikusan 100s) hosszabb mint a fő plazmafolyamozok időskálája (pl. áramdiffúzió), magas fűtési teljesítmény mellett: 41MW.

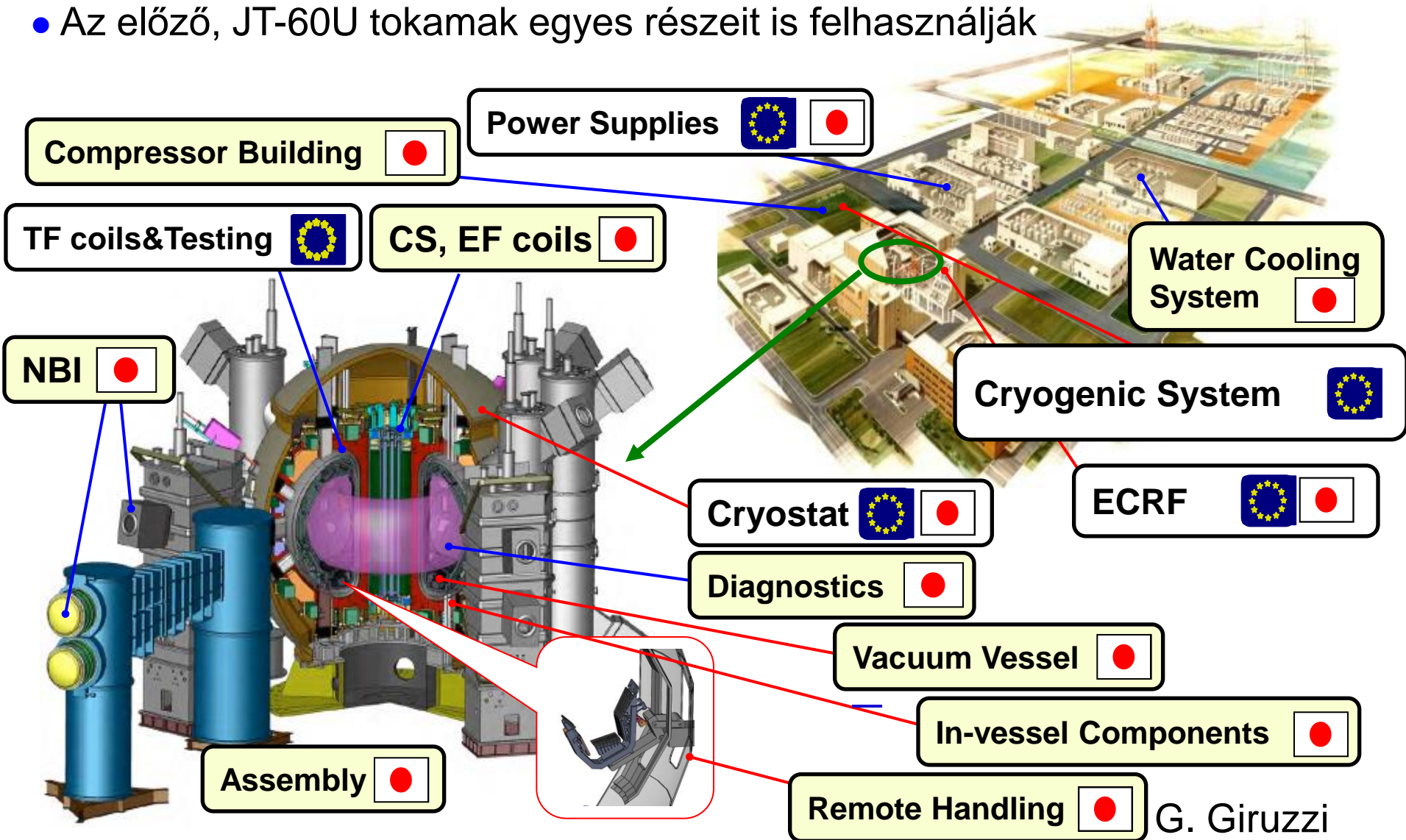
- Az ITER támogatása
- Az ITER kísérletek kiegészítése a DEMO felé
- A fúziós szakemberek következő generációjának kiképzése



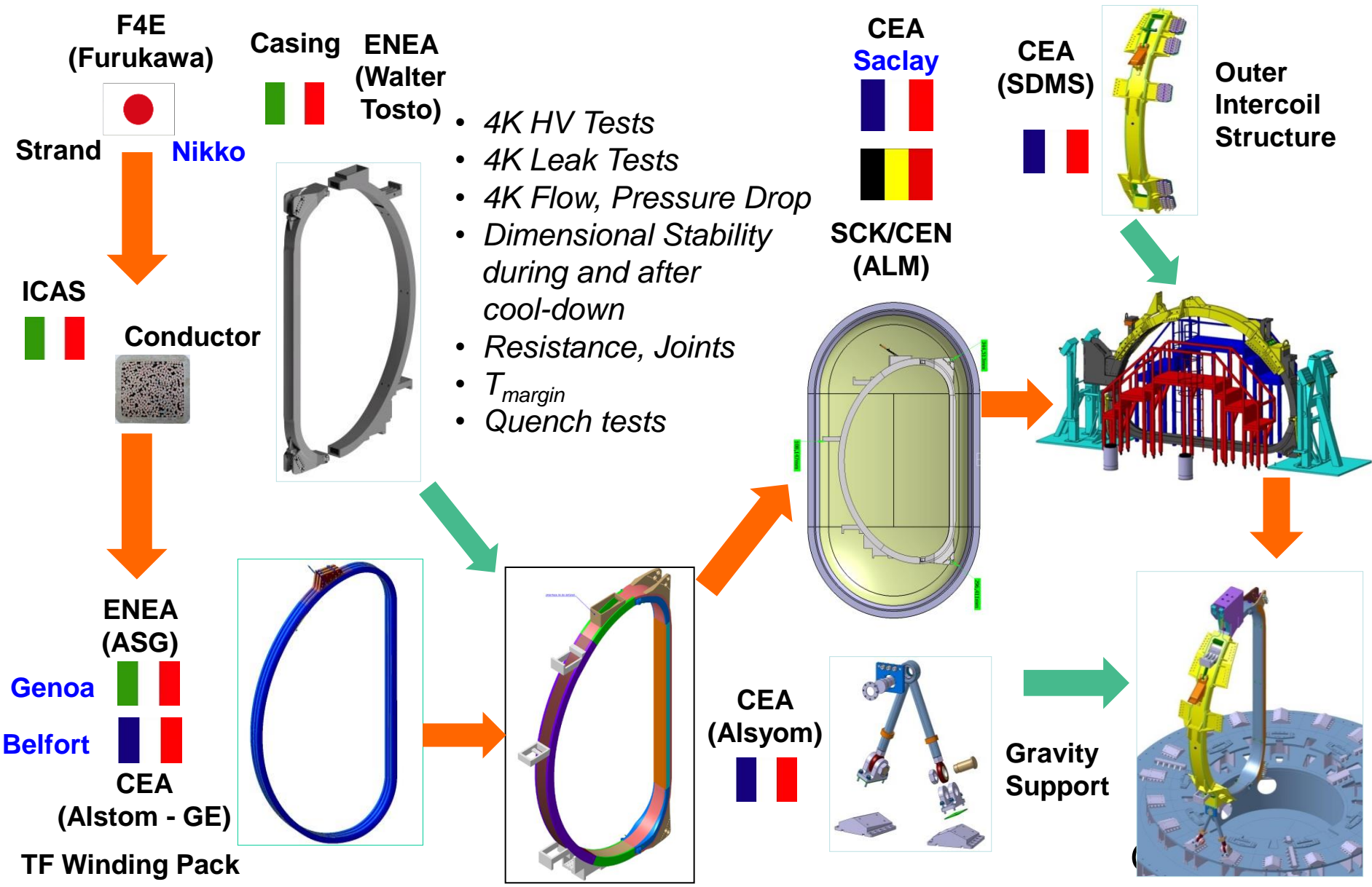
G. Giruzzi

ITER-léptékű, szupravezető fúziós kísérlet, jelentős magyar részvétellel

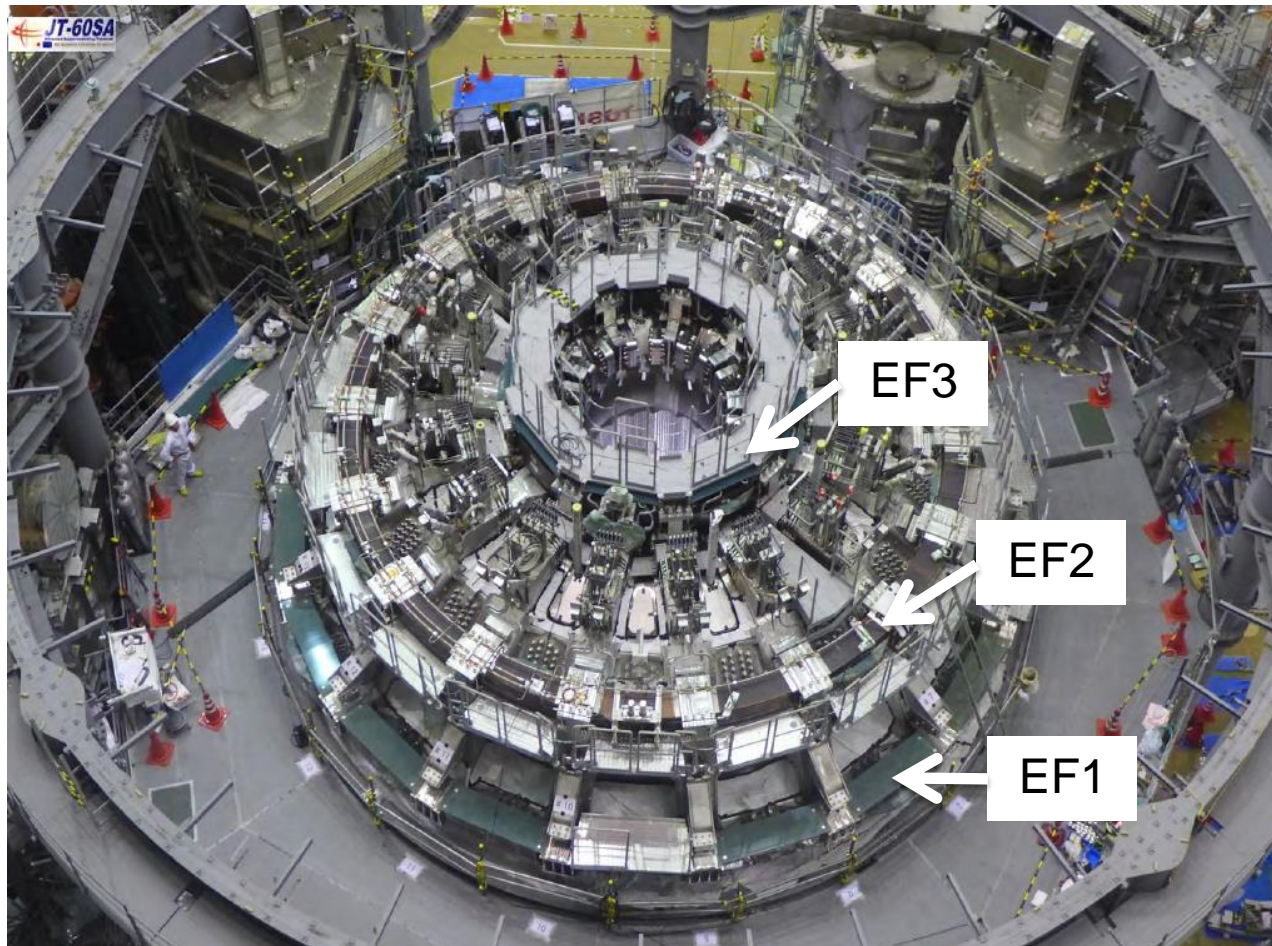
- Japán és az EU közösen adják az alkatrészeket, természetben
- Az előző, JT-60U tokamak egyes részeit is felhasználják



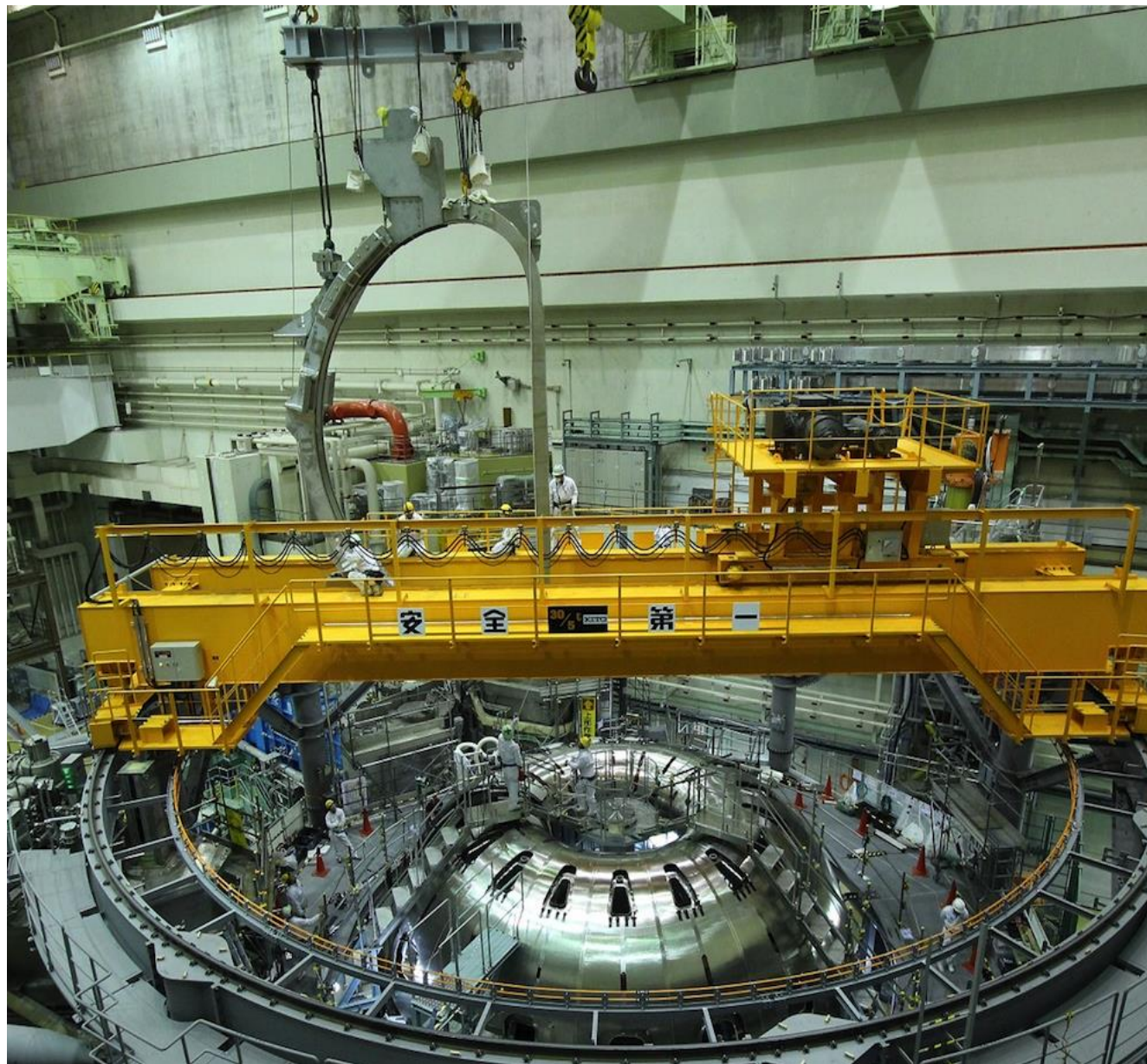
G. Giruzzi



Mind a 18 toroidális tekercs a helyén.
A vákuumkamra utolsó szektora a helyén, hegesztve.
Mind a 6 egyensúlyi szabályozó tekercs is a helyén.

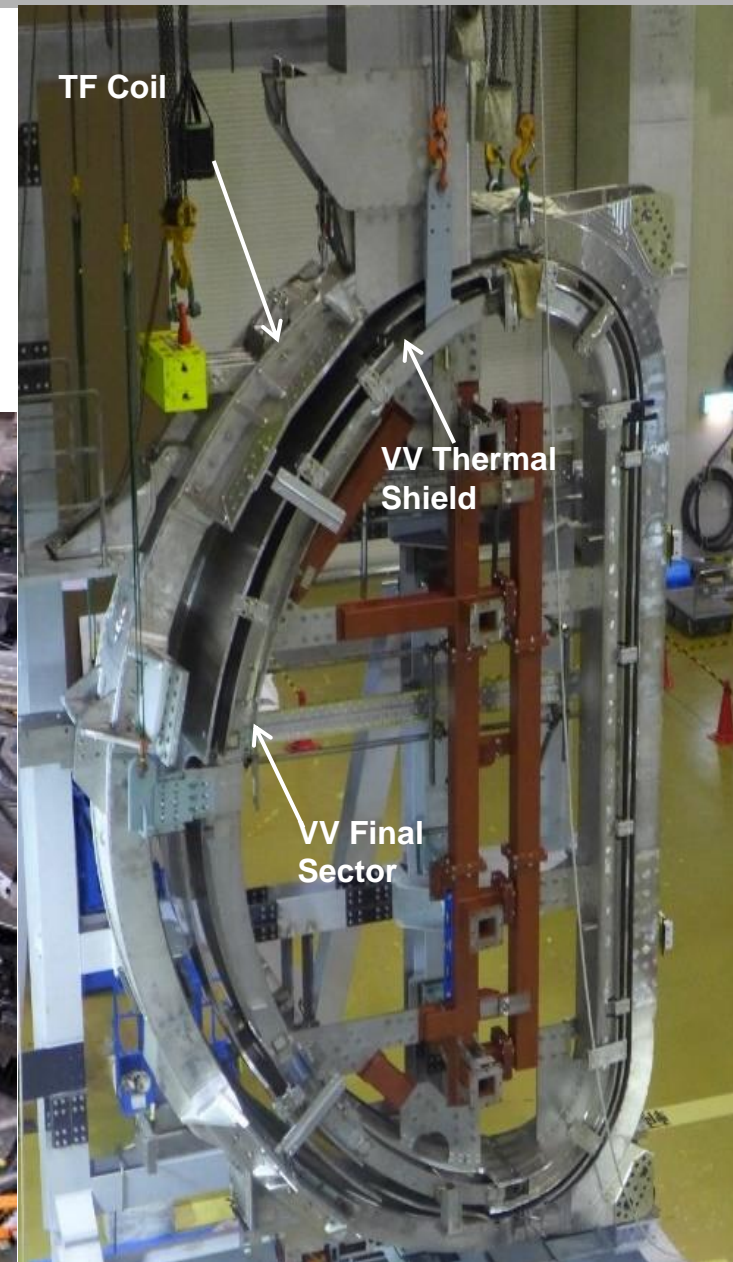
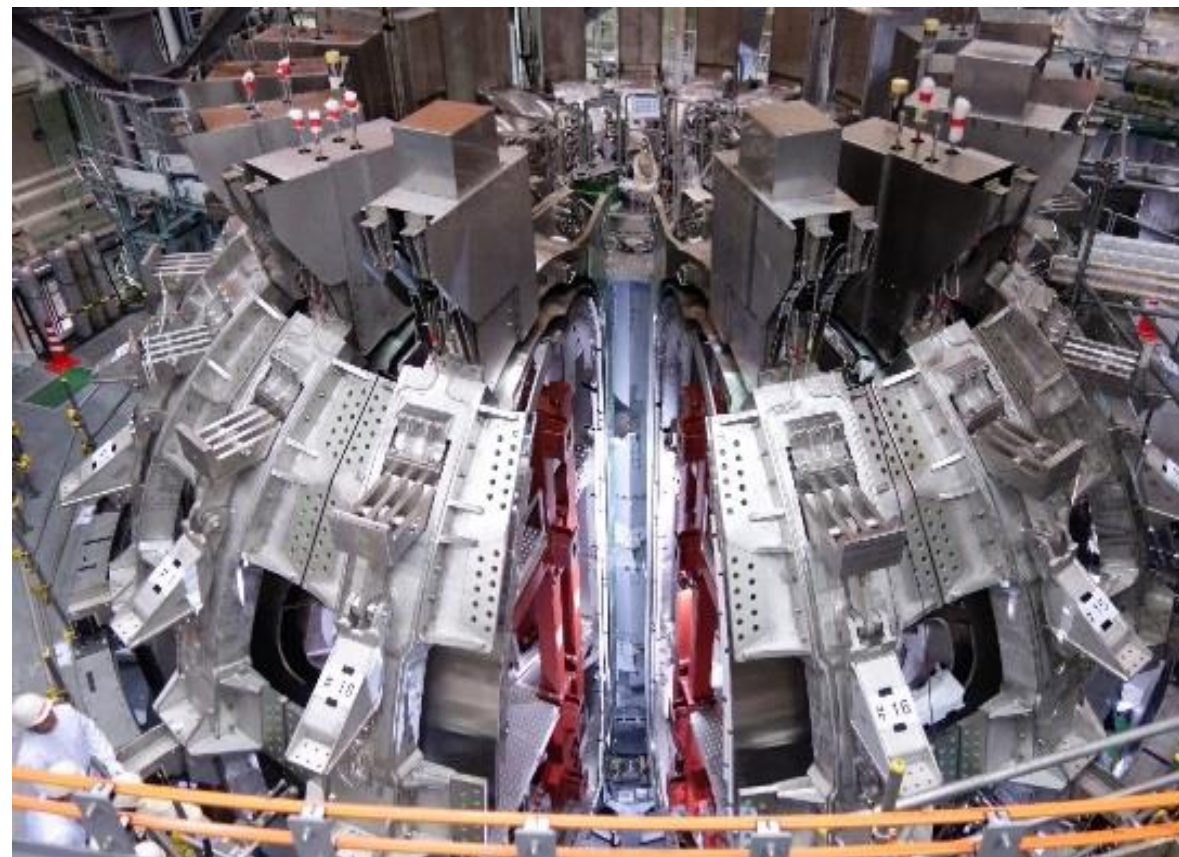


G. Giruzzi

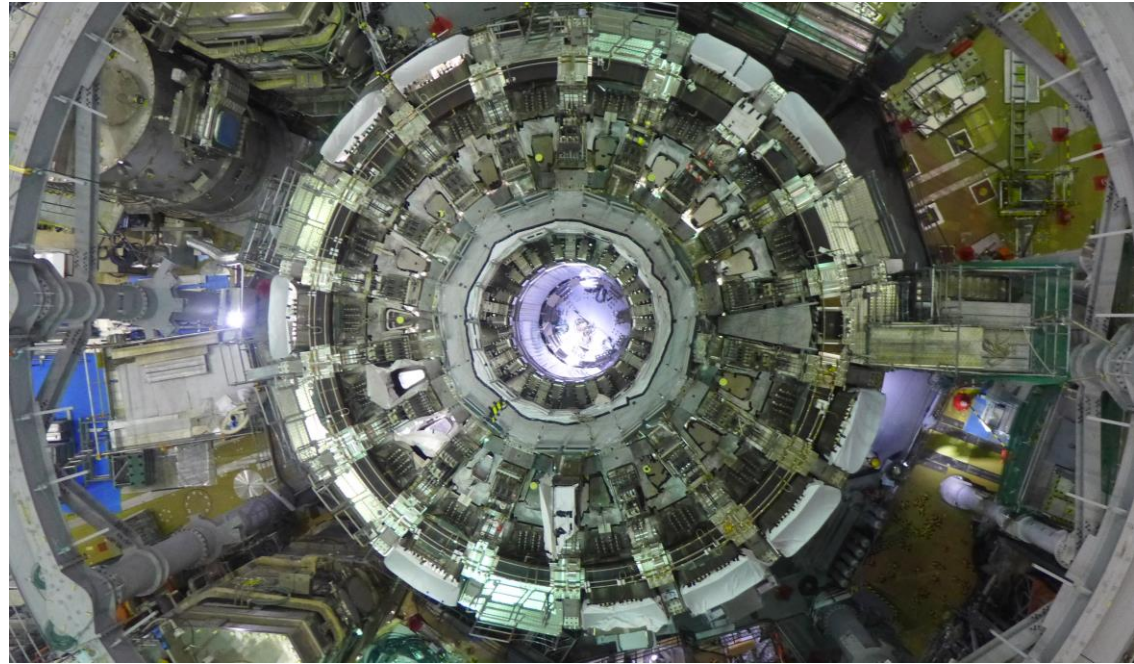
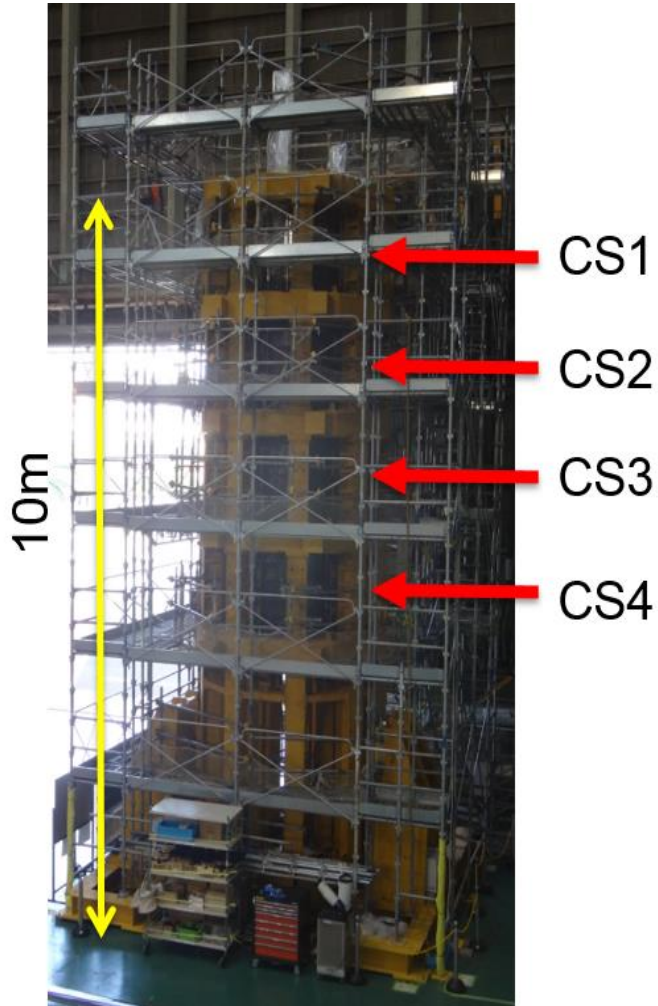


G. Giruzzi

- Az utolsó, 20 fok szélességű egységet a tekercsek behelyezése után hegesztették a helyére.



- A központi tekerecs



G. Giruzzi

- A kroiosztát kamra



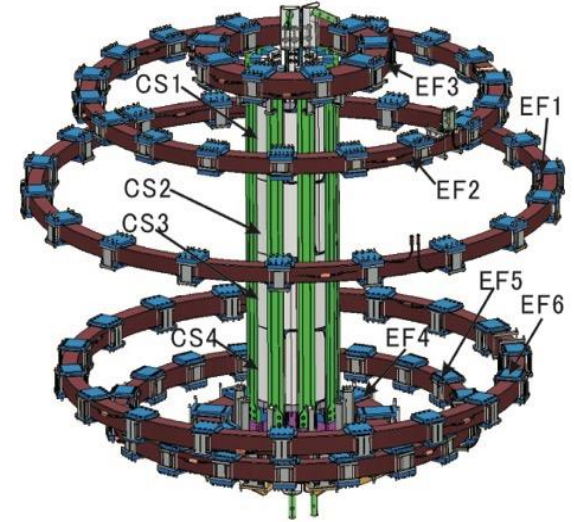
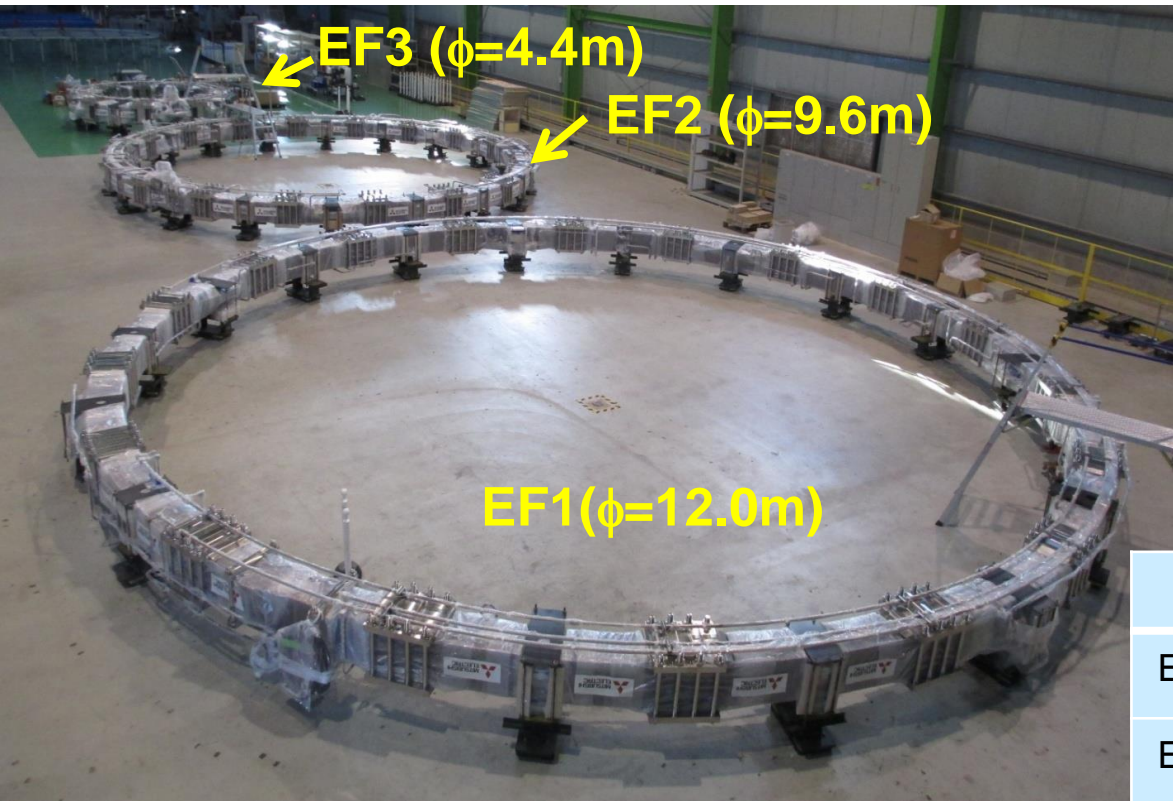
Hengeres rész: elkészült



A felső sapka egyik fele

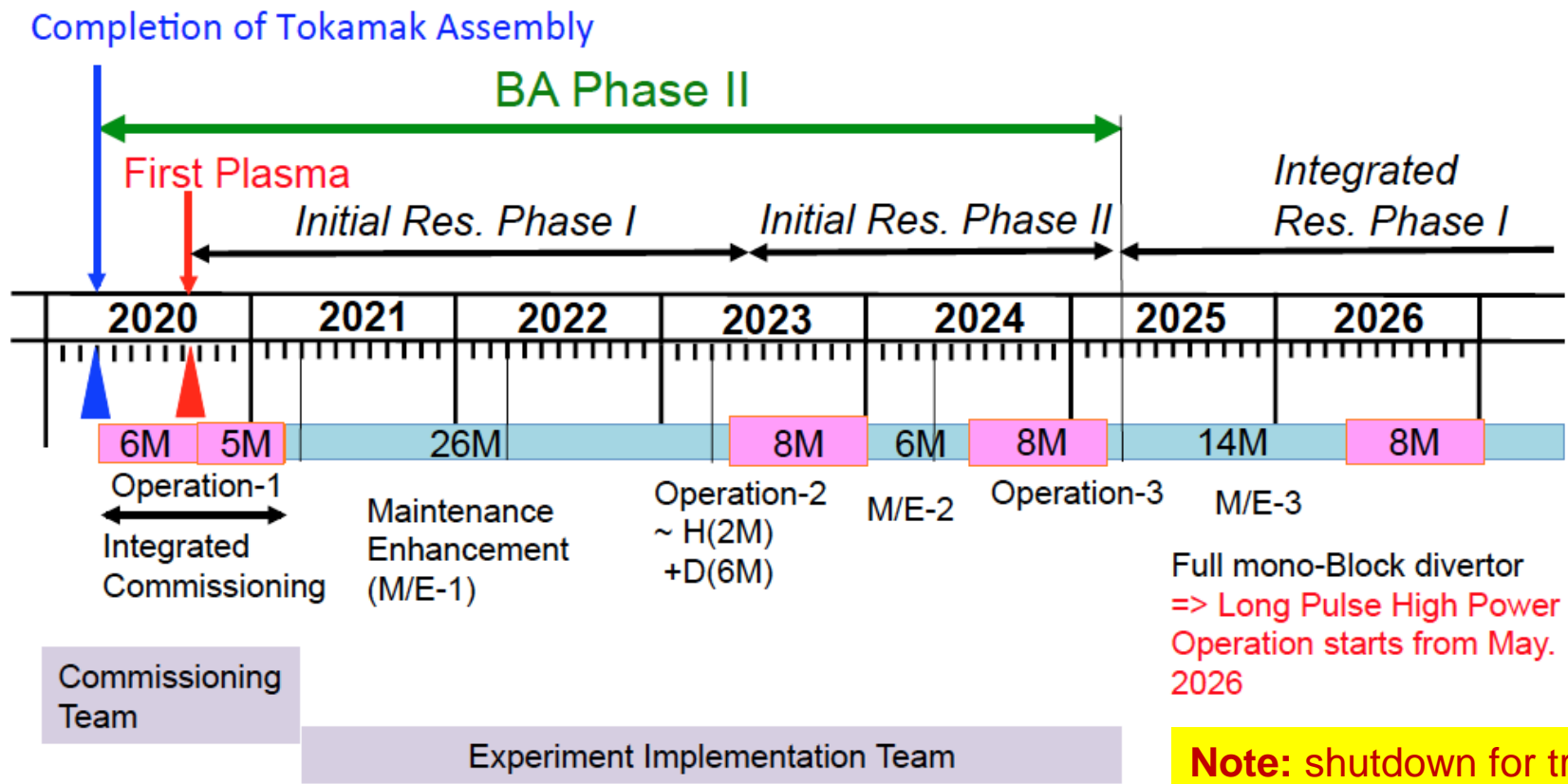
G. Giruzzi

- Az összeszerelés pontossága



Cél:
 Hiba $\sim 10^{-4}$
 10m \Leftrightarrow 1mm

| | diameter | requirement | Achieved |
|-----|----------|-------------|----------|
| EF1 | 12.0m | ≤ 8 mm | 0.3 mm |
| EF2 | 9.6m | ≤ 7 mm | 0.4 mm |
| EF3 | 4.4m | ≤ 6 mm | 0.2 mm |
| EF4 | 4.4m | ≤ 6 mm | 0.6 mm |
| EF5 | 8.1m | ≤ 7 mm | 0.6 mm |
| EF6 | 10.4m | ≤ 8 mm | 1.3 mm |

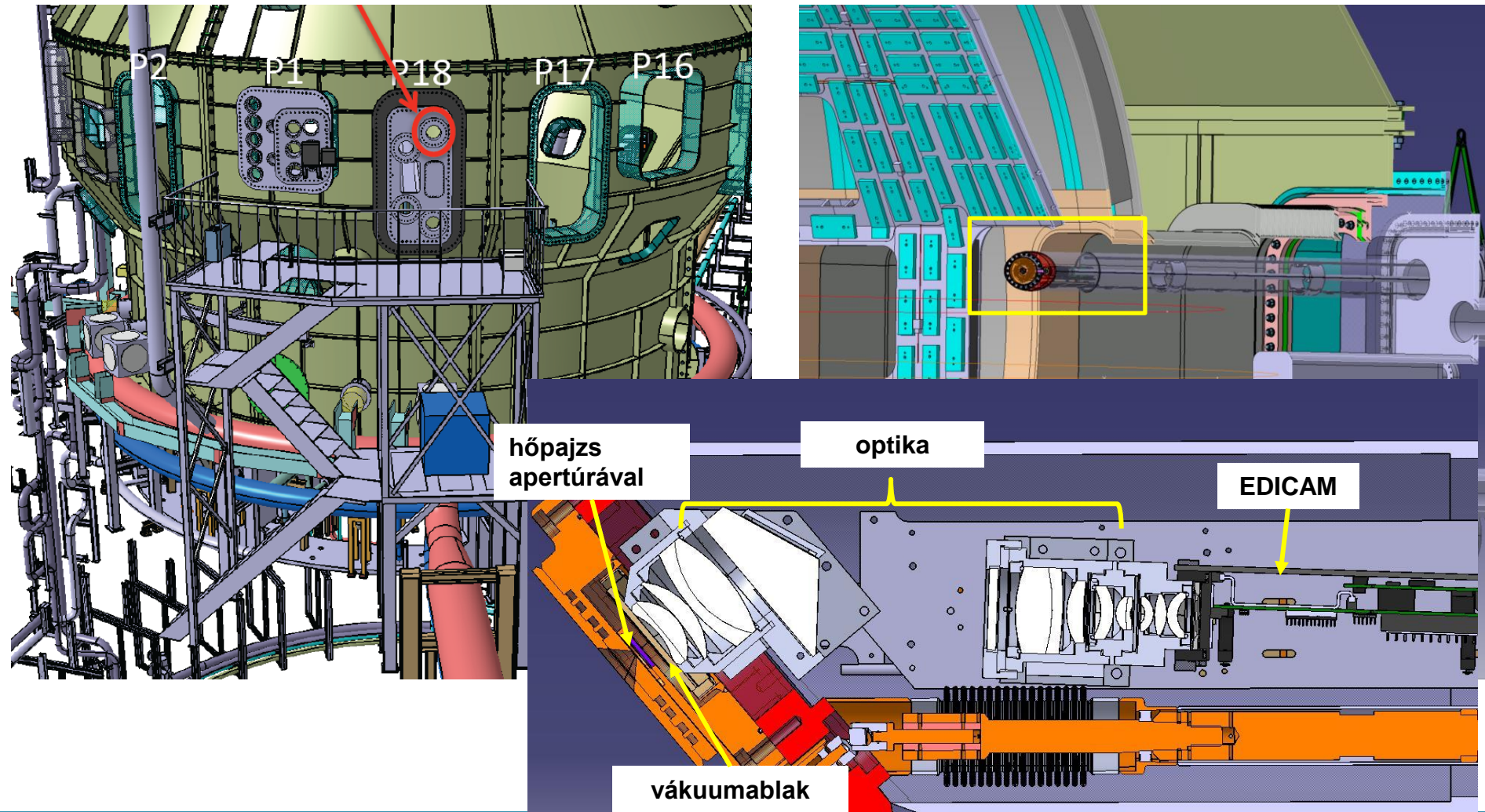


Full mono-Block divertor
=> Long Pulse High Power
Operation starts from May.
2026

Note: shutdown for transition to W PFC from 2029

Egycsatornás, széles látószögű gyorskamerás diagnosztika, látható tartomány

A diagnosztika helye a tokamakban



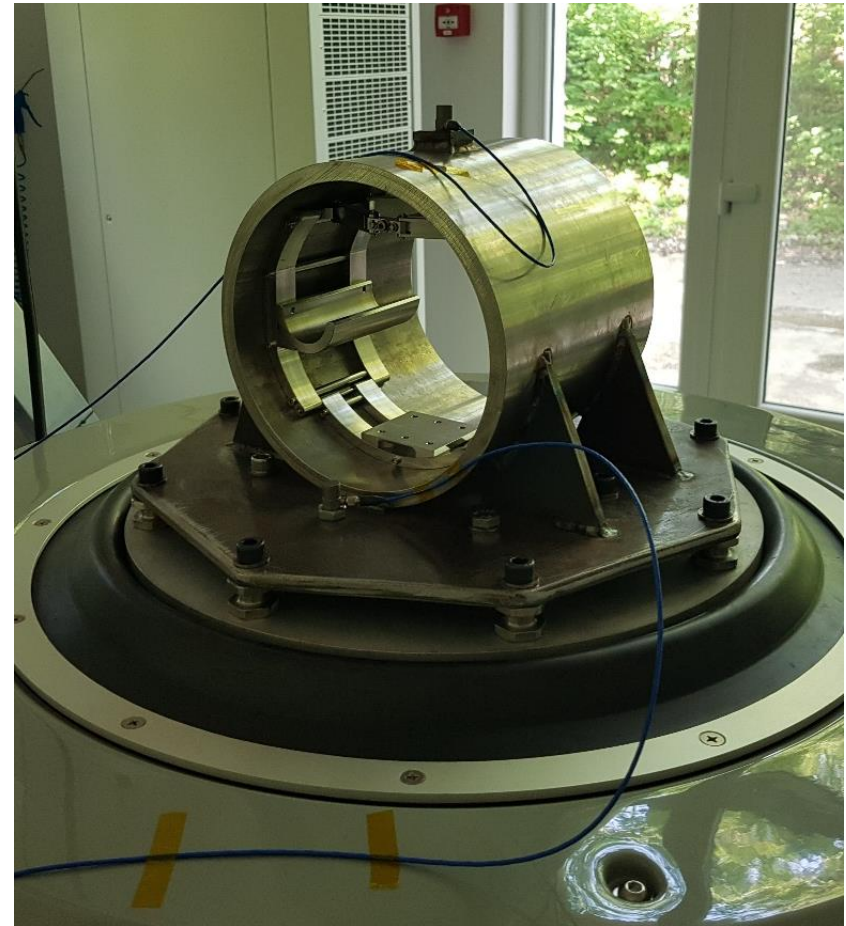
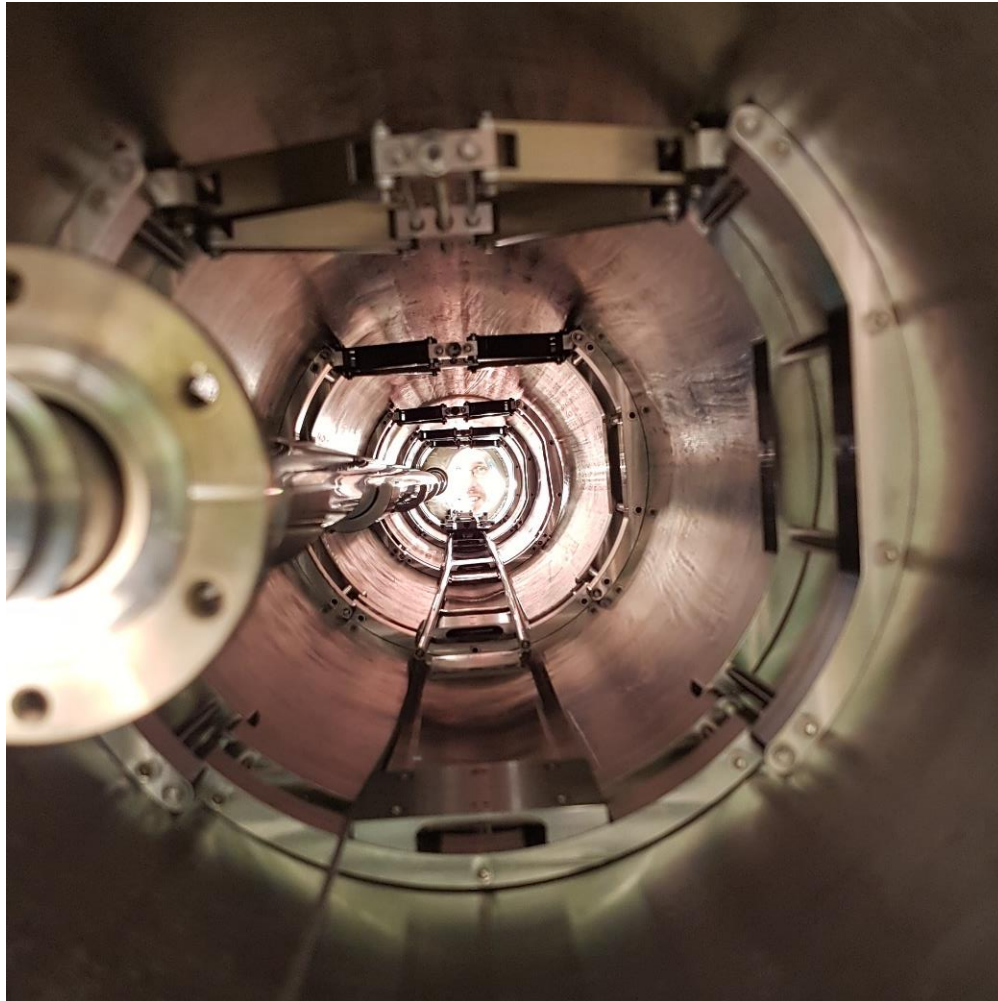
Át kell jutni a kriosztáton: 3 m hosszú „port plug”

- rögzítés: csak a vákuumkarimánál fogva



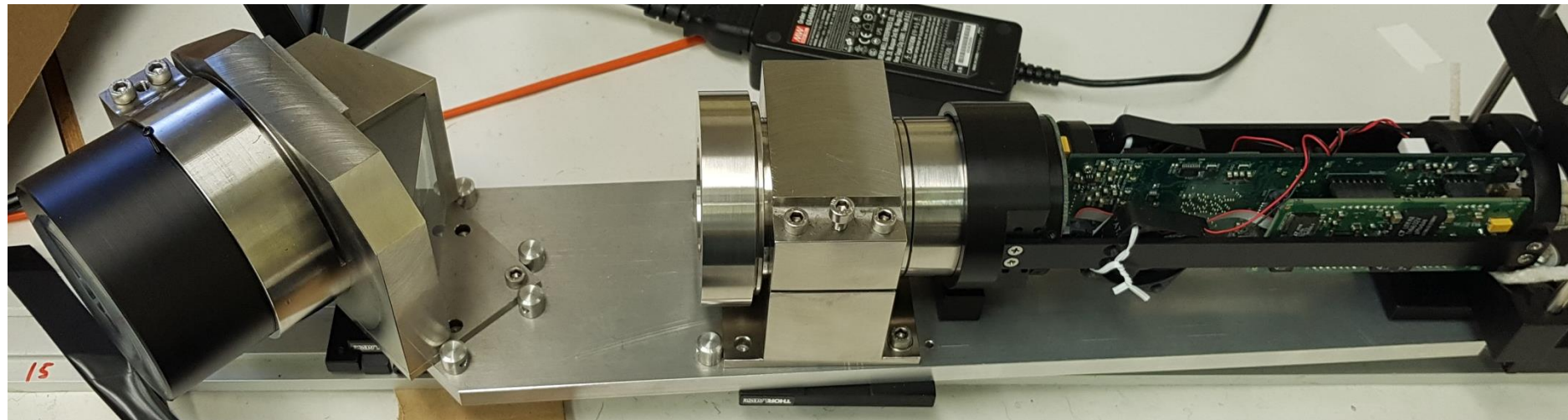
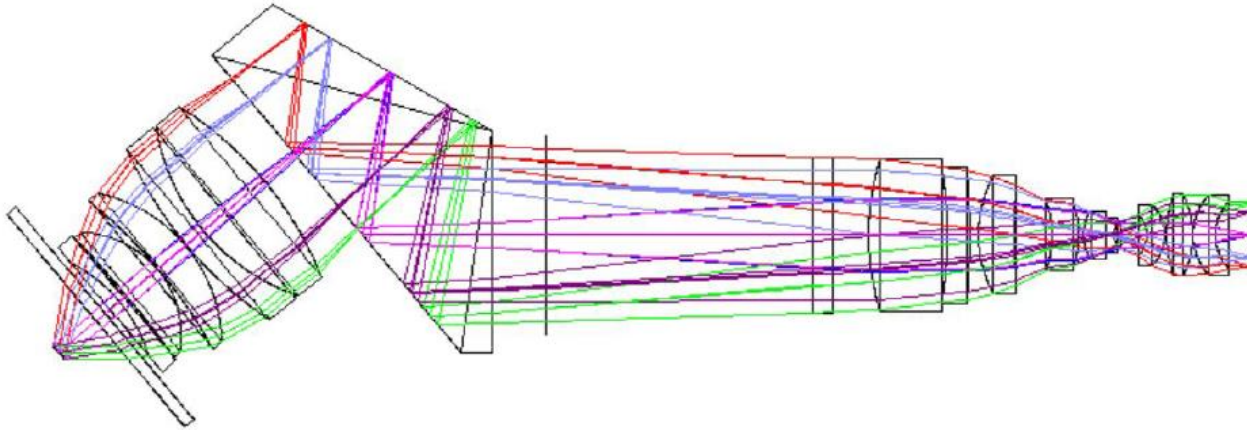
Át kell jutni a kriosztáton: 3 m hosszú „port plug”

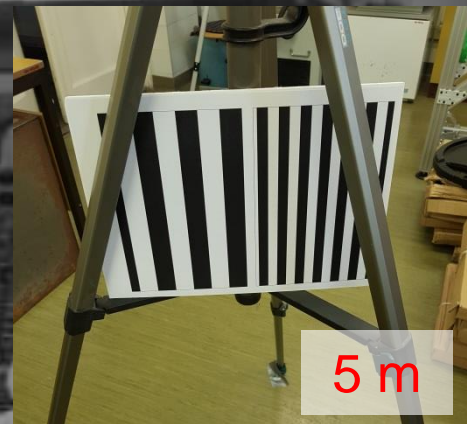
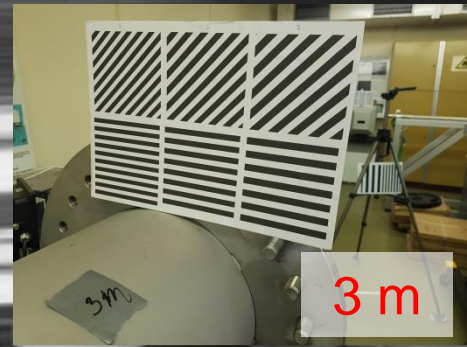
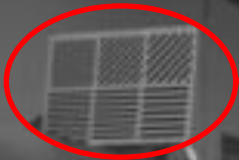
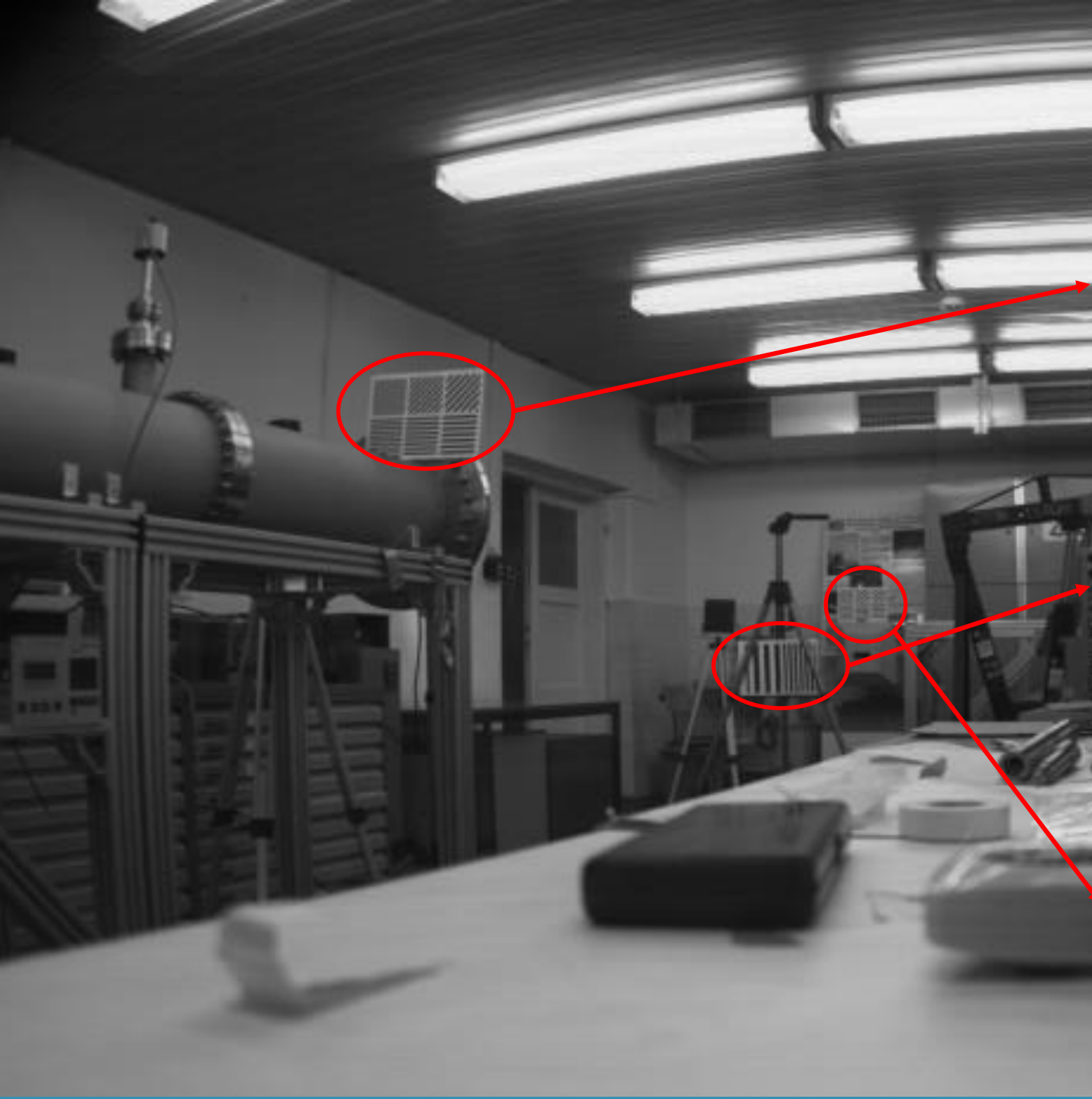
- a bemezőcső belsejében sín → a kamerát el kell juttatni a cső végébe



Speciális optika – 5 mm lyukon keresztül nézünk, 80° látószög

- az optikai tengelyt 40°-kal meg kell törni → prizma



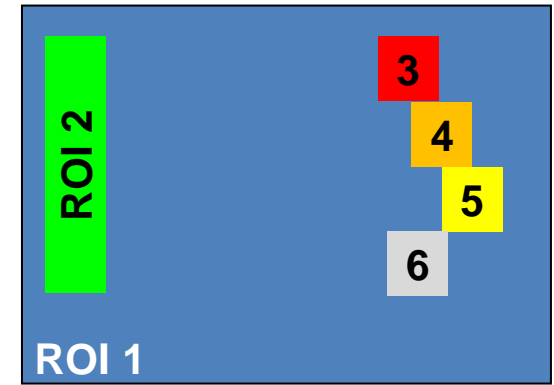


1.3 Mpixel CMOS (gyors)kamera

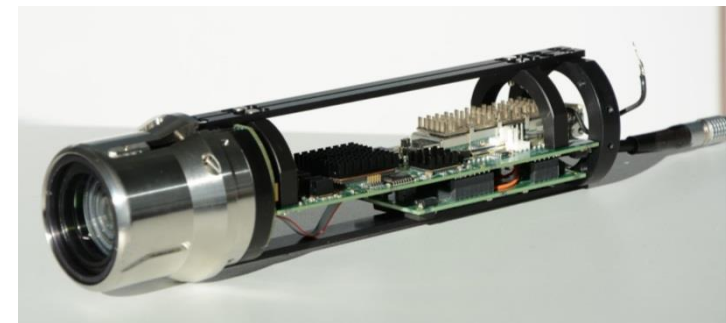
- 400 fps (1280x1024) ↔ 50,000 fps (64x64)
- többszörös ROI üzemmód (akár 6 ROI)

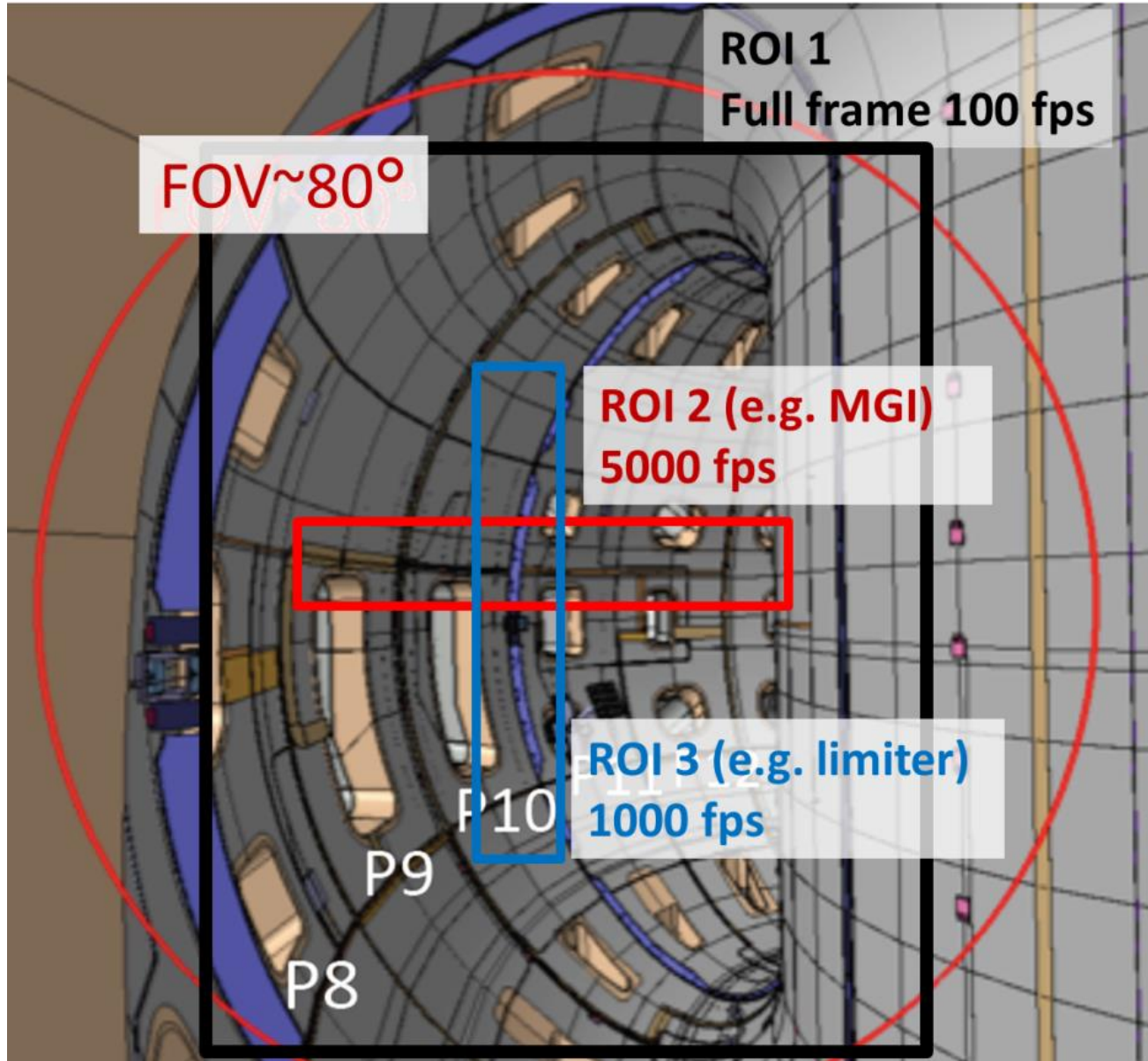
| | | | |
|-------|-------|-----------|-----------|
| → pl. | ROI 1 | 1280x1024 | 100 Hz |
| | ROI 2 | 128x512 | 1000 Hz |
| | ROI 3 | 64x64 | 20,000 Hz |

- valós idejű képfeldolgozás (FPGA)
- események (felh. által előre def.): fényesség-komparálás, külső TTL jel
 - a kamera automatikusan észleli
 - logikai láncba fűzhetők
- műveletek: szintén felh. által def.
 - adattárolás be/ki
 - kamera működése: ROI start/stop
 - külső TTL triggerjel adása

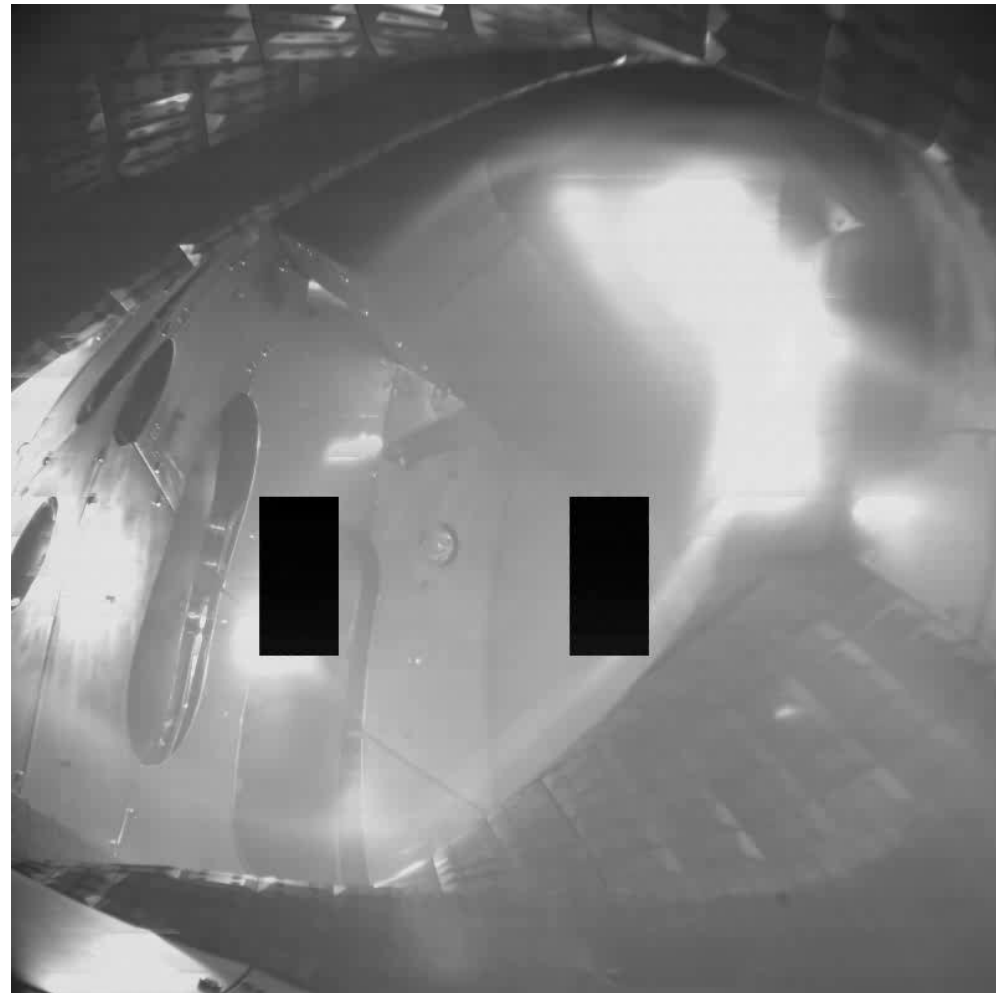
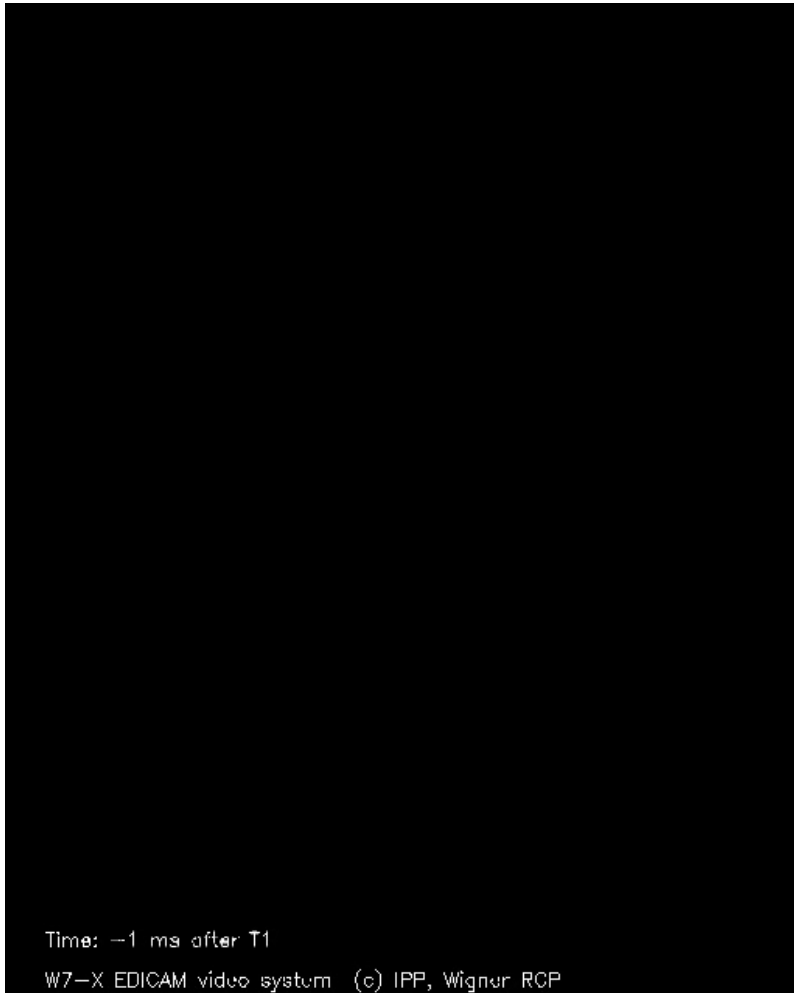


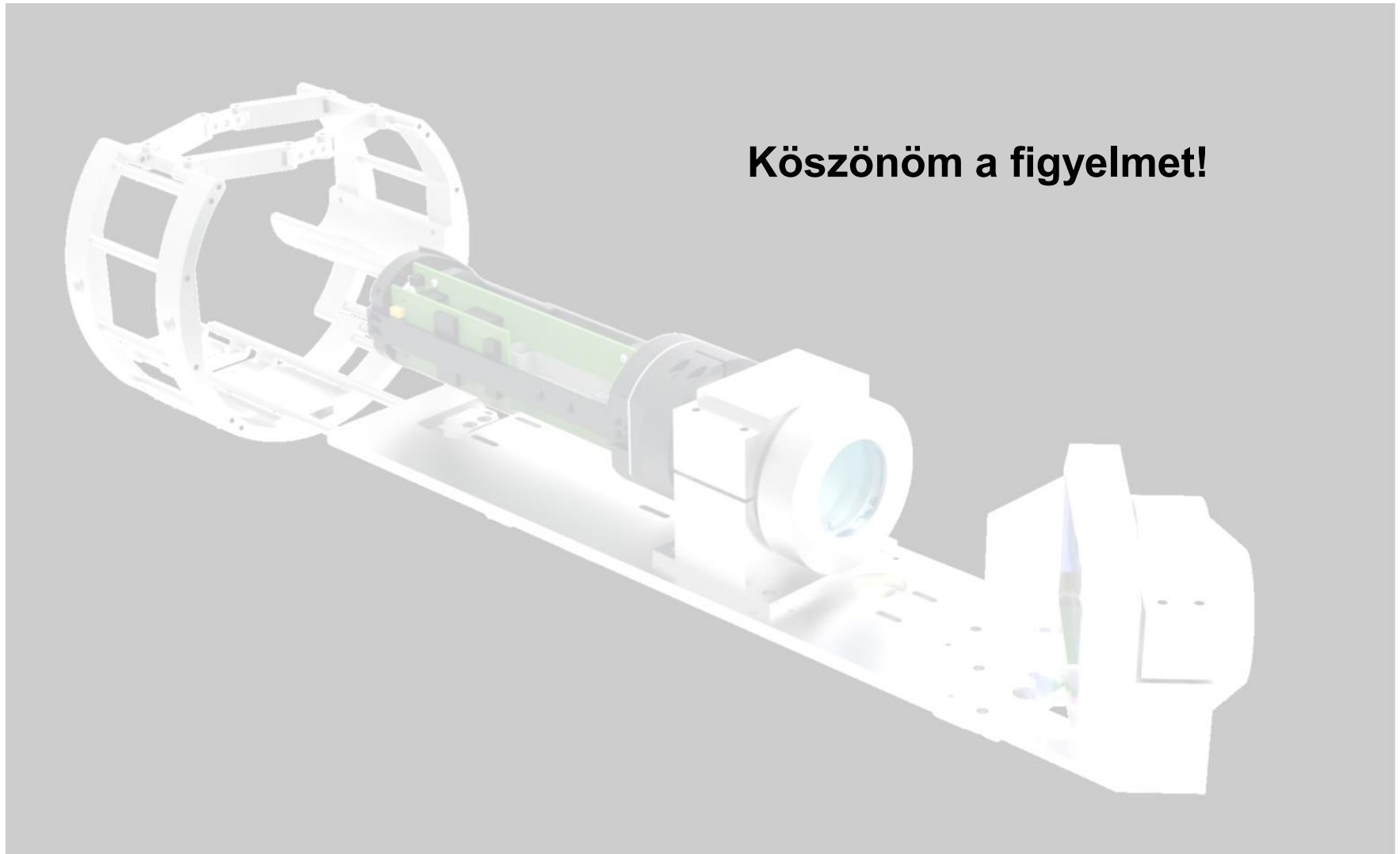
CMOS chip





Wendelstein 7-X sztellarátor – 10db EDICAM

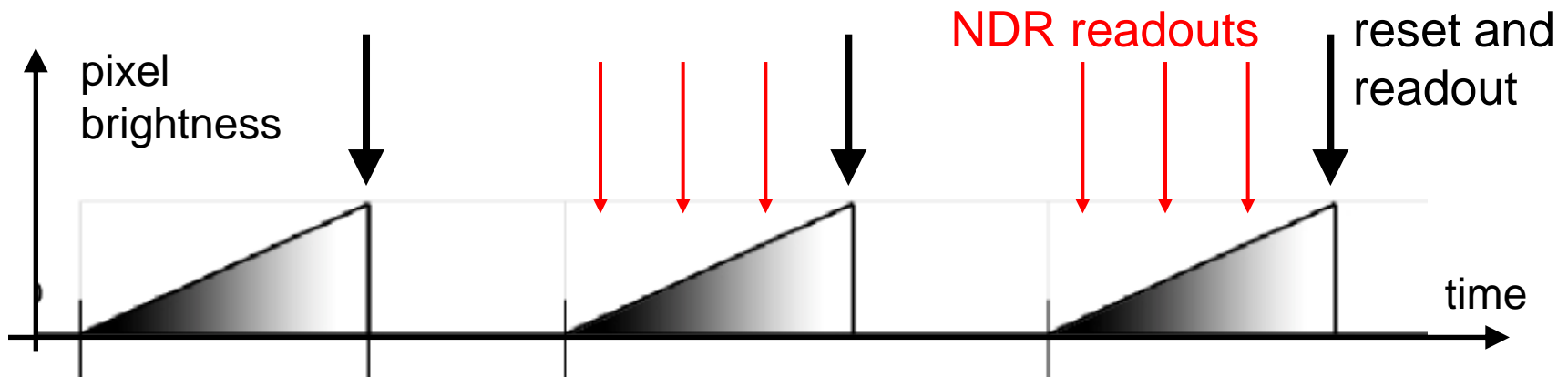




Köszönöm a figyelmet!

Lupa-1300 CMOS sensor

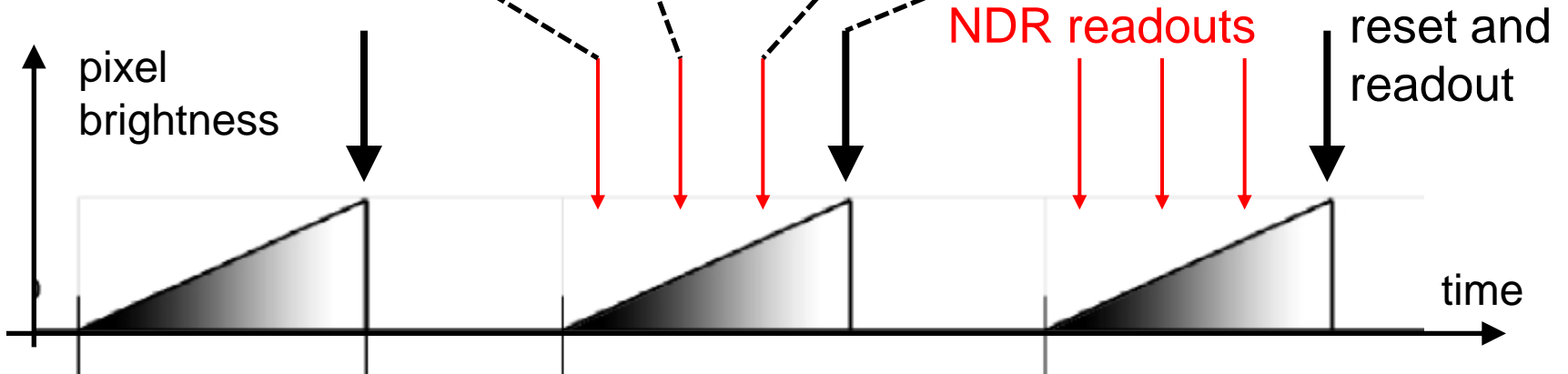
- 1280x1024 @ 440 fps, pl. 32x32 @ 100.000 fps
- very flexible ROI (region-of-interest) definition
 - size and position freely variable in steps of (32,1) pixels
- **non-destructive readout (NDR)**
 - read picture data from the sensor without reset



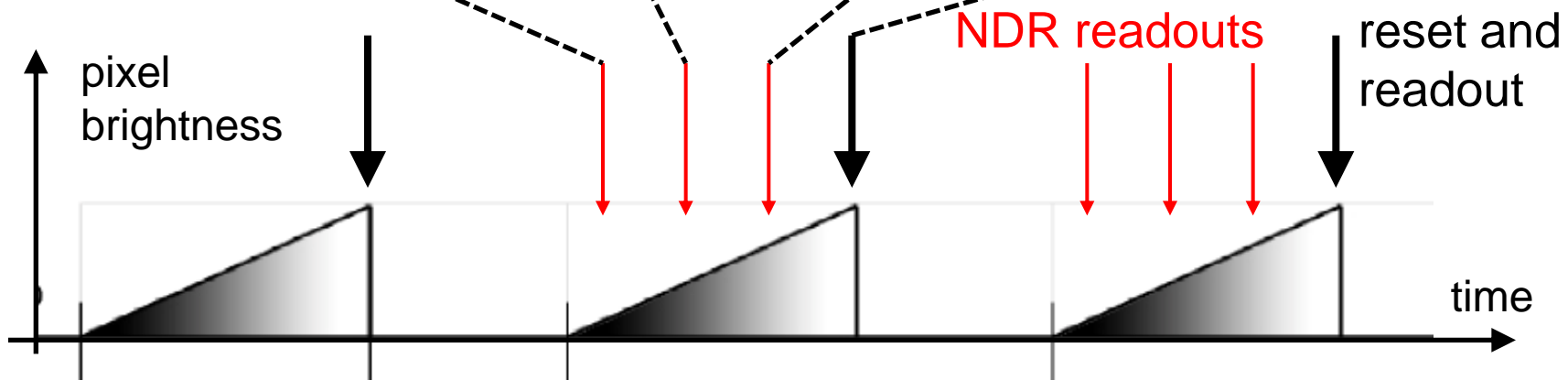
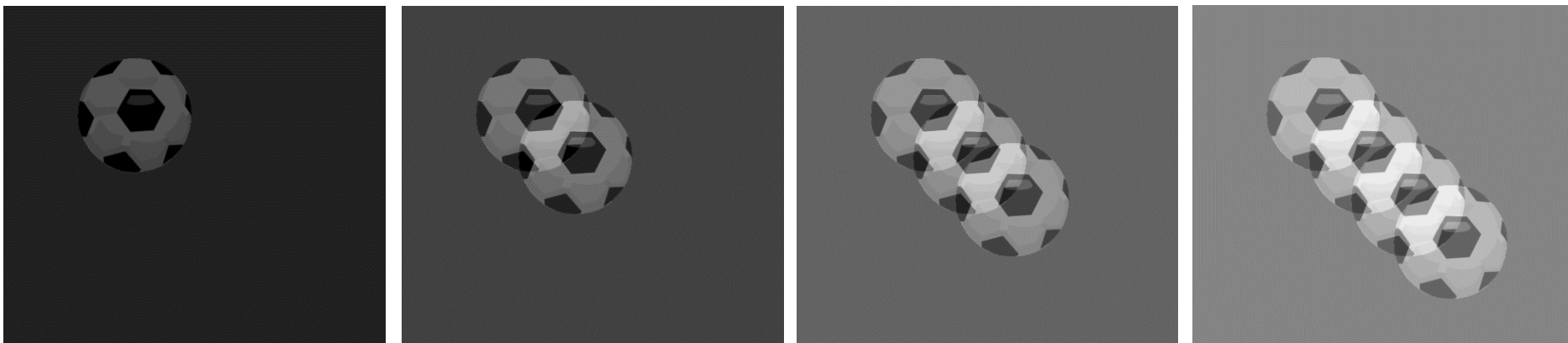
Stationery objects:



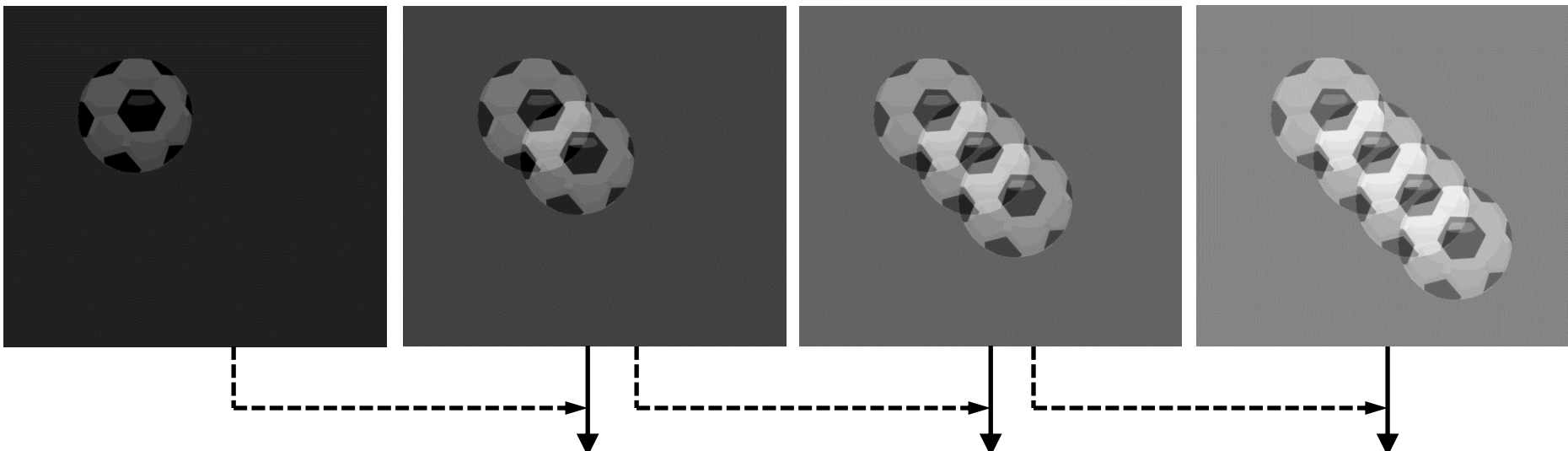
Solving the overexposition problem (e.g. bright events)



Moving objects:

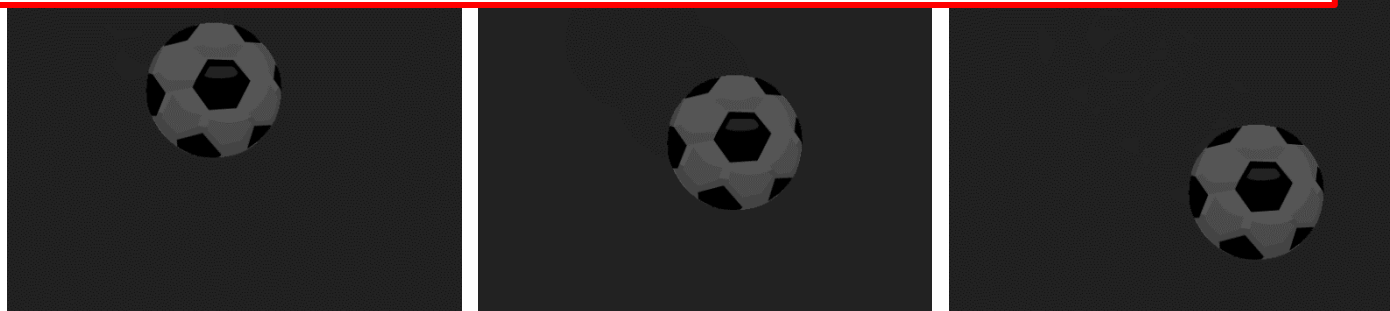


Moving objects:



Differential in **Fast and slow measurements simultaneously! For all ROIs!**

- By hardware
- normal (fast) camera mode



Firmware determines camera functionality

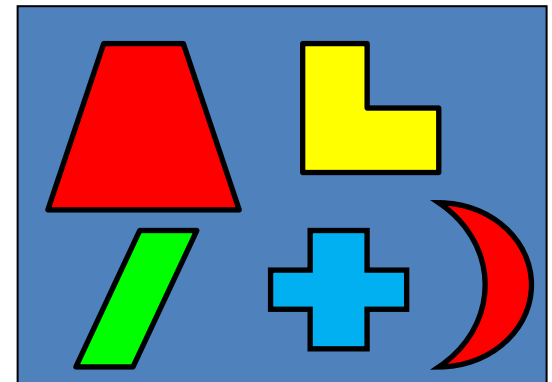
- collaboration with a small Hungarian company (EUROfusion Third Party)

Presently implemented

- 6 simultaneous, rectangular ROIs
- moving ROI, differential ROI
- 8 events: intensity limit (min, max, total), time, external TTL
- actions: data storage on/off, ROI start/stop, start moving, external TTL

Planned developments

- ROI: arbitrary-shaped [(32,1) step size]
- events: intensity centroid + coordinates
- actions: ROI positioning



CMOS chip