



Laboratóriumi röntgenspektroszkópiától
a spallációig

Gyermekkori ambíciók

- Matematika tanítás

- Bakelit lemez émlények

- „IM ANFANG WAR DAS WORT“
“IM ANFANG WAR DER SINN“
„IM ANFANG WAR DIE TAT“

DAS WOHLTEMPERIERTES KLAVIER



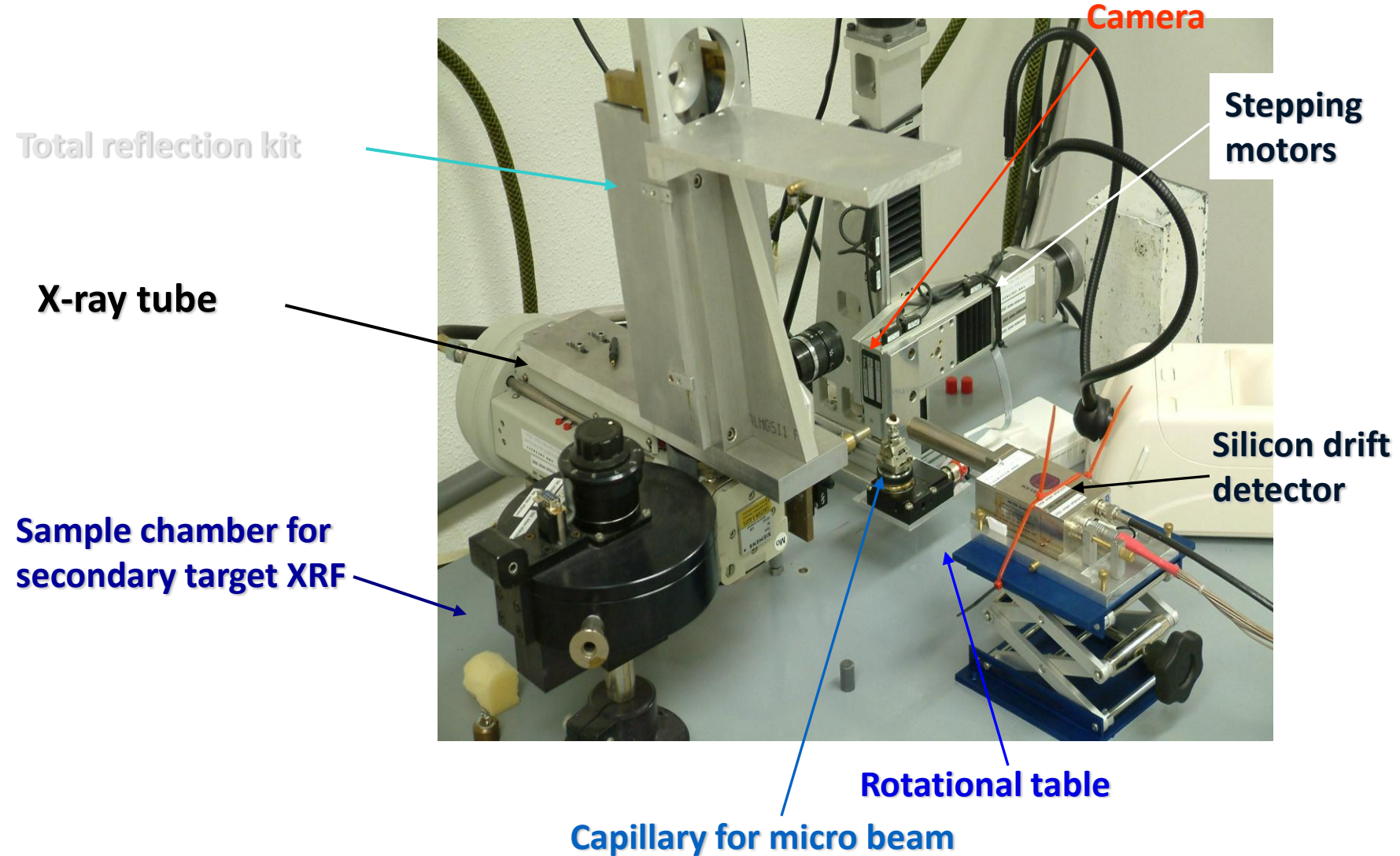
Melyik utat válasszam?

[illegible]

Az évtizek opuszai a laborban

- Heterogén mikroszemcsék nyomanalitikájának megvalósítása XRF technikával (90-es évek)
- Aeroszolok a statisztikus fizika szemével, forrás meghatározás a respirábilis frakcióban (1995-..)
- Forró radioaktív részecskék balesetekből és üzemzavarokból (2000- 2006) laborból szinkrotron és neutron forrásra
- Duóból lettünk „kortárs szimfonikus”

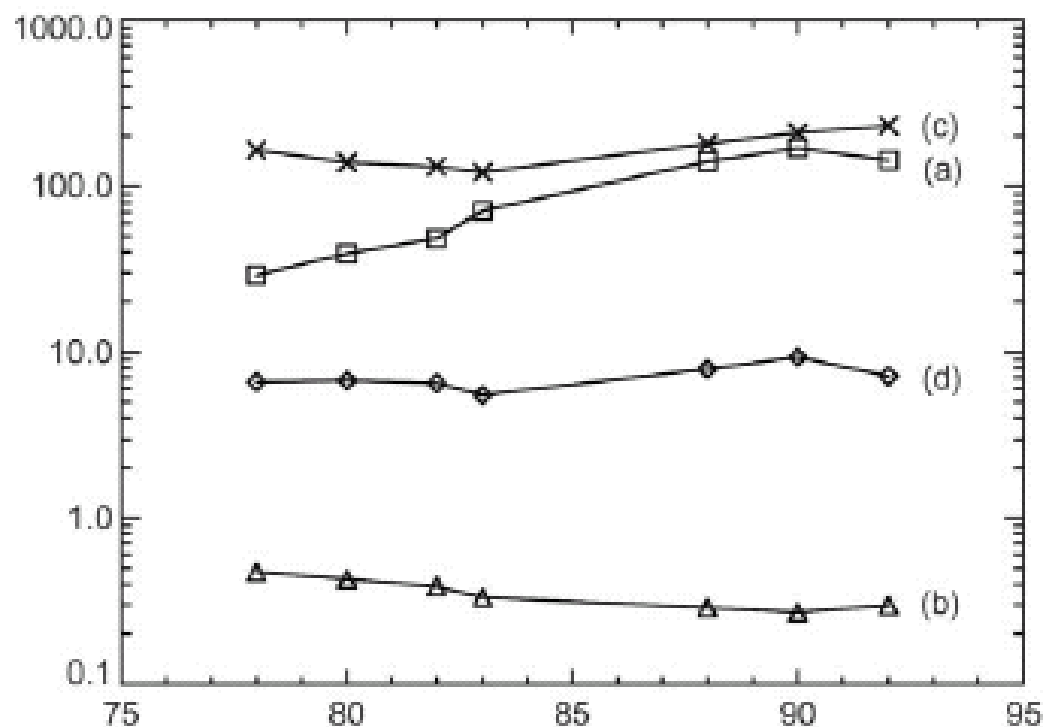
X-ray fluorescence setup



Röntgen μ -analitikai módszerek forró részecskék elemzésér

“és lőn világosság”

- Nem nuklid-specifikus, de rendkívül alacsony kimutatási határ
- Egyedi forró részecskék elemanalízisére μ -XRF
- LKM hosszú felezési idejű izotópokra nagyságrendekkel alacsonyabb a nukleáris módszereknél
- Oxidációs állapot meghatározására μ -XANES



LKK (ppm) különböző μ XRF berendezéseken 50 μ m átmérőjű részecskére a rendszám függvényében (a, LNLS fehér, b, HASYLAB monokromatikus, c., Mo-anódos röntgencső fehér d., HASYLAB fehér sugárzás)

Terepi és laboratóriumi környezeti projektek

Háttér aeroszol minták mikro- és nano-tartományban

Erőművek károsanyag kibocsátása

Repülőtéri légszennyezés monitorozása és rendszer
kiépítés

Üledék szennyezés tisztai cián és meddőhányó omlások
után

Paksi légszennyezettség

Forró részecskék a környezetben, baleseti és normal
üzemi

Alaperőművi légköri kibocsátások non-EU konform korszakban

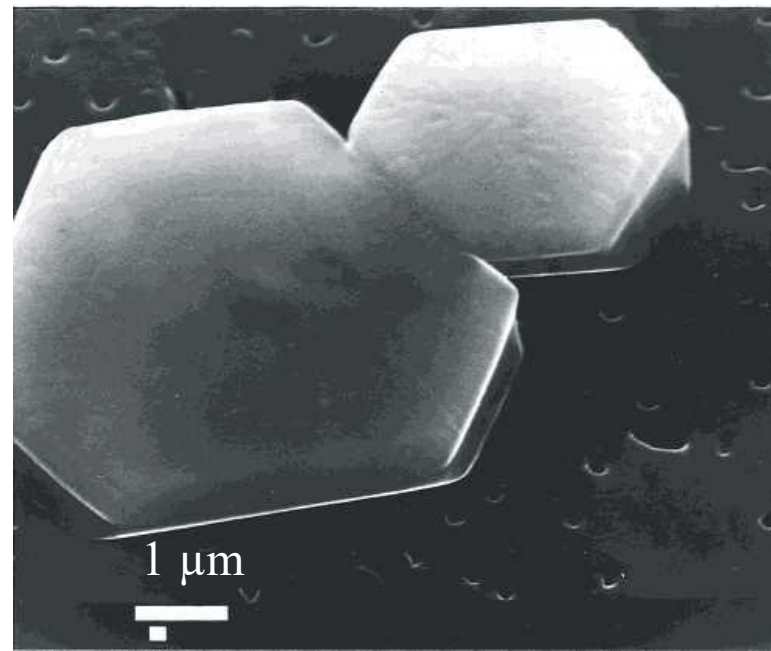
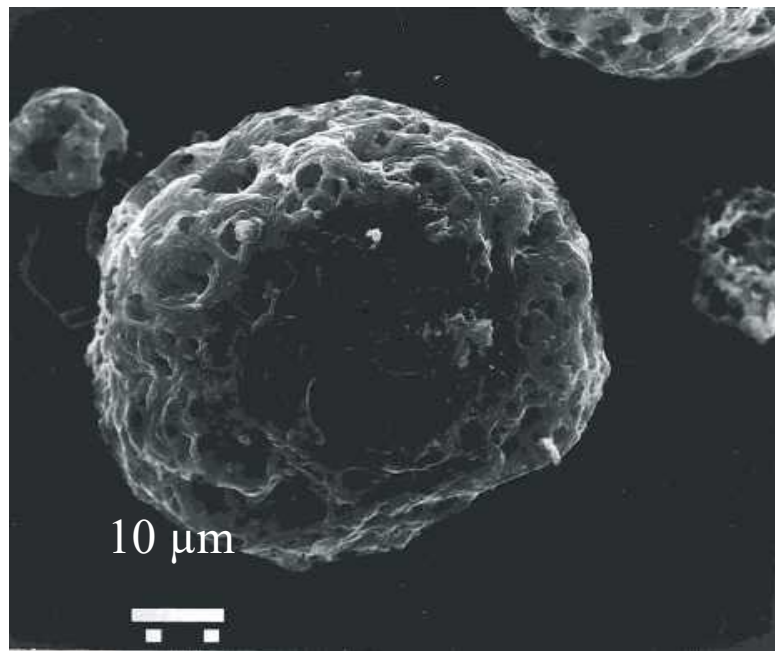


Dunamenti erőmű 1996

- Méret szerint frakcionált minták (1 ng-1 mg)
- Egyedi mikroszkopikus részecskék mérése
- 0,4 μm – 60 μm
Inorganikus összetétel
EPMA, μ -XRF
- Kémiai állapot NEXAFS, μ -XANES

Csúcszerőmű nem-stacionárius üzemállapota

- reggeli begyűjtésnél 10-100 μm kiégetlen részecskék dominálnak
- leálláskor a füstgázcsatornában lerakódott korróziós szemcsék a meghatározóak



Hot particles from accident scenarios and military application

- ***Nuclear weapons test sites:*** (Nevada, US; Maralinga, Australia; Mururoa, French Polynesia; Semipalatinsk, Kazakhstan , Kazakhstan plutonium concentrations in excess of $100,000 \text{ Bq kg}^{-1}$ dry soil);
- ***Fallout from nuclear reactor explosions*** (Chernobyl, Ukrania, Fukushima);
- ***Fires in nuclear reactors*** (Chernobyl, Windscale, UK)
- ***Areas contaminated by crashed of reactor powered satellites*** (Cosmos 954, Canada);
- ***Aircraft carrying nuclear weapons*** (Thule, Greenland, Palomares, Spain)
- **Military application** (Depleted uranium)

Thule airbase accident 1968, lost nuke in the sea due to fire in cockpit

Pu rich particle in
sediment around Thule
accident

Measured at ANKA

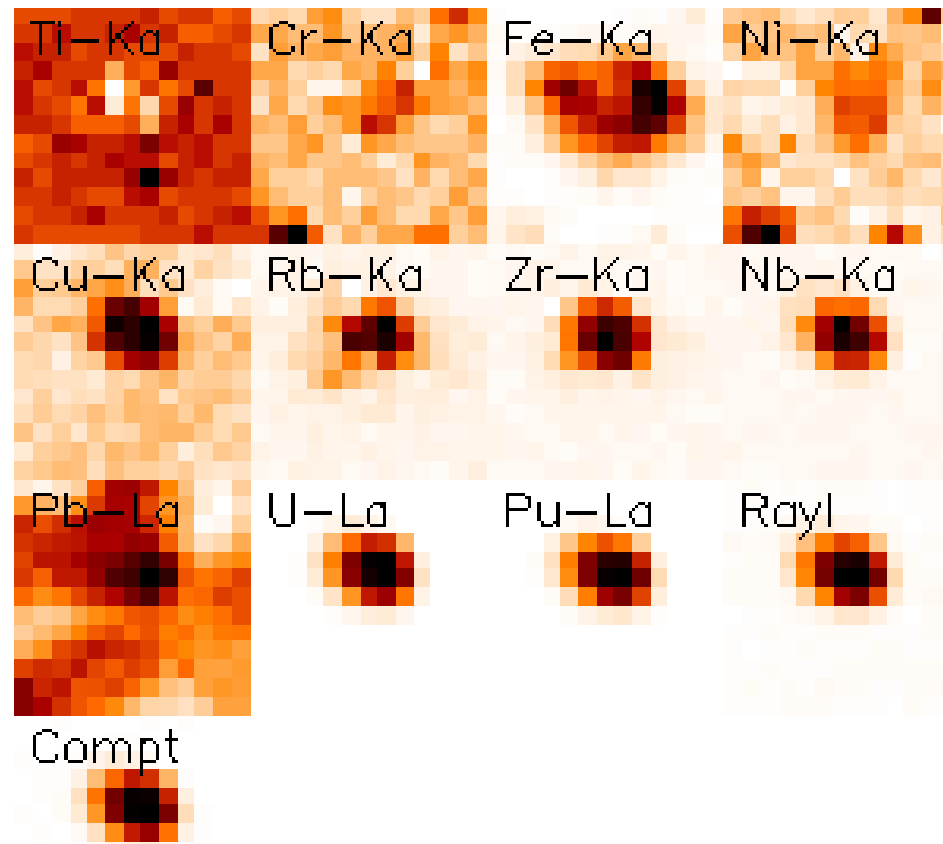
multilayer
monochromator 23 keV

beam size 20 μm

Pu major component

Pu/U 1/3

weapon grade



Present name Pituffik Space Base

Micro-XRF tomography

3D elemeloszlás **Fe** **Sr** **U** **Pu**
Thule Mururoa

ANKA FLUO

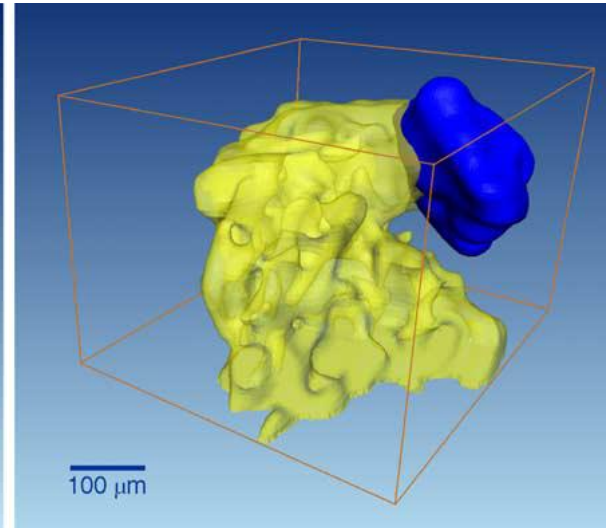
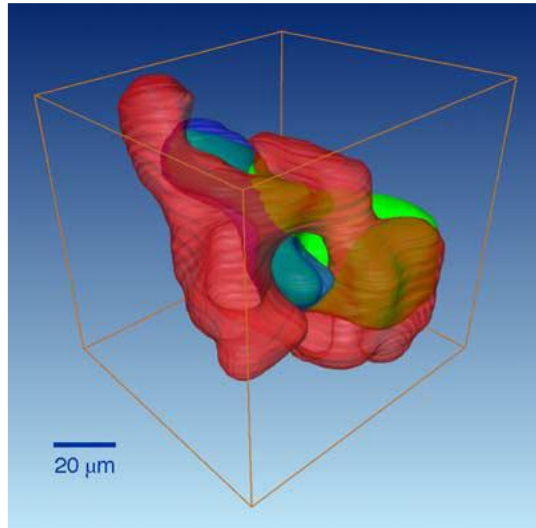
$E_0=21 \text{ keV}$, $\Delta E/E=0.02$

Rotation: 0-360°, 6° steps

Beam size:

Thule: 11 μm

Mururoa: 19 μm

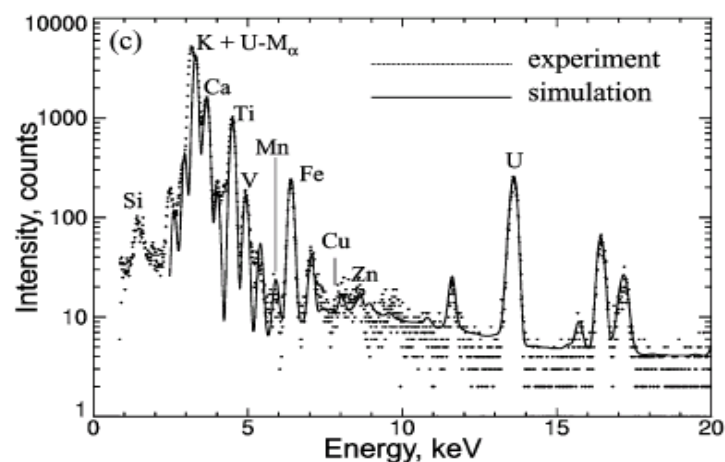


200 μm

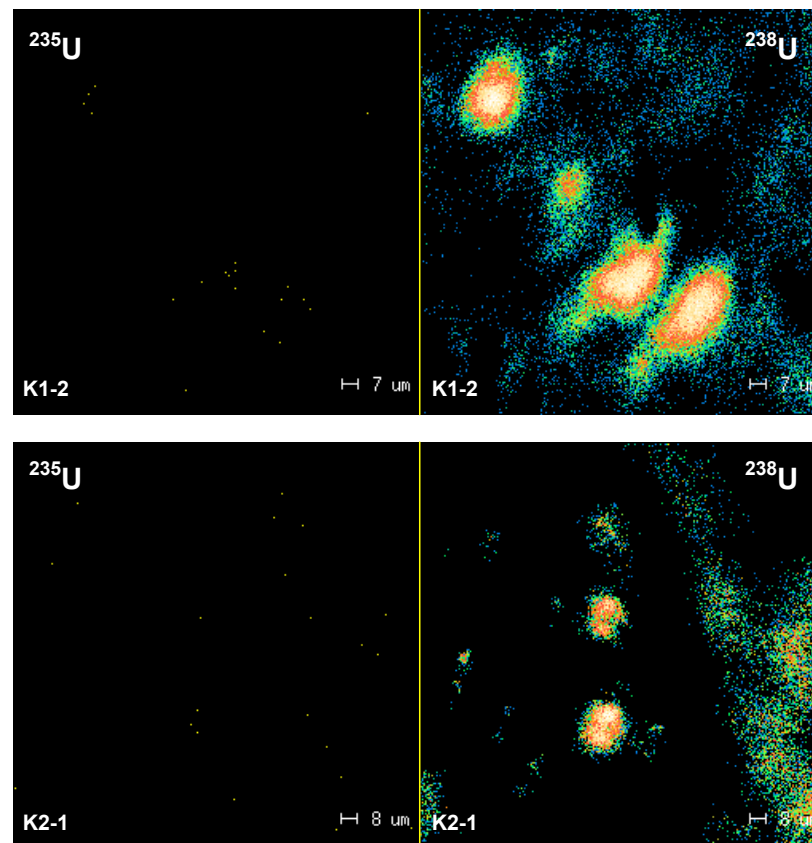
Eriksson M, Osán J, Jernström J, Wegrzynek D, Simon
R, Chinea-Cano E, et al.
Spectrochim. Acta B 2005, 60, 455-469

Szegényített uránt tartalmazó szemcsék a koszovói hadműveletek területéről

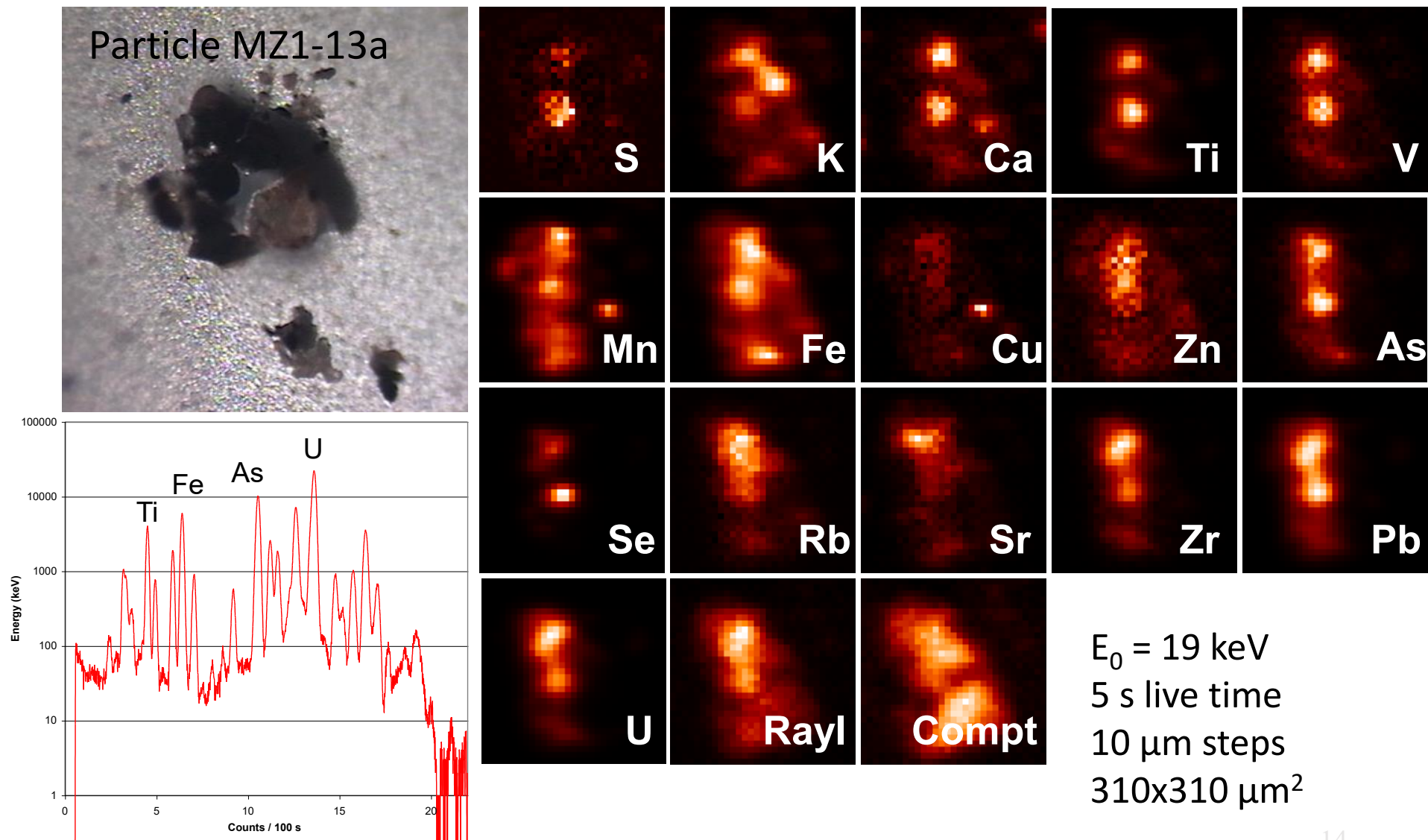
Koszovói szemcse mért és szimulált XRFS spektruma 20 μm nyalábbal



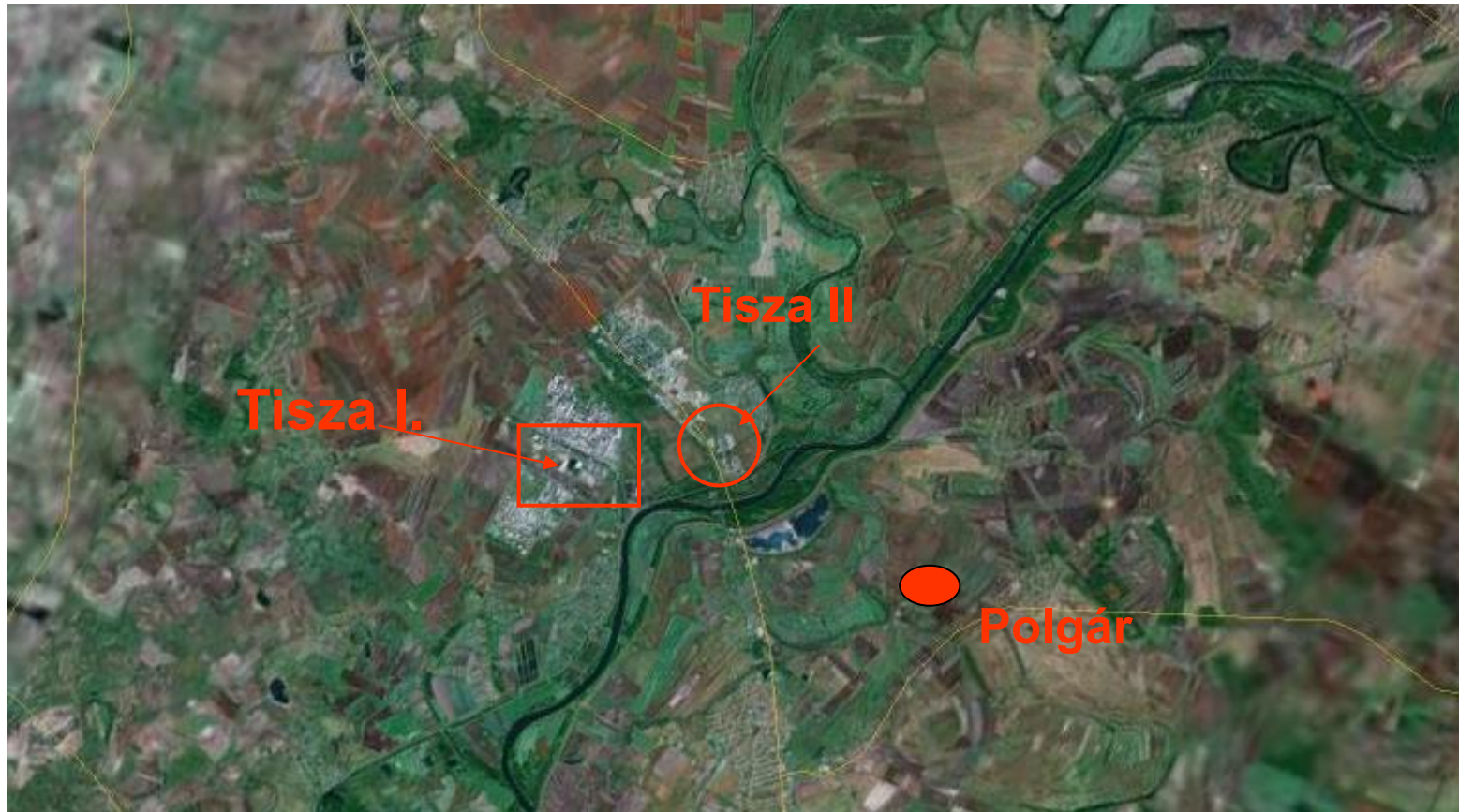
- Kimutathatóak a talajszemcsék között finom frakciójú (0,5-5 μm) szegényített urán szemcsék (jellemzően $^{235}\text{U} < 0,02\%$)



Sellafield sediment μ -XRF

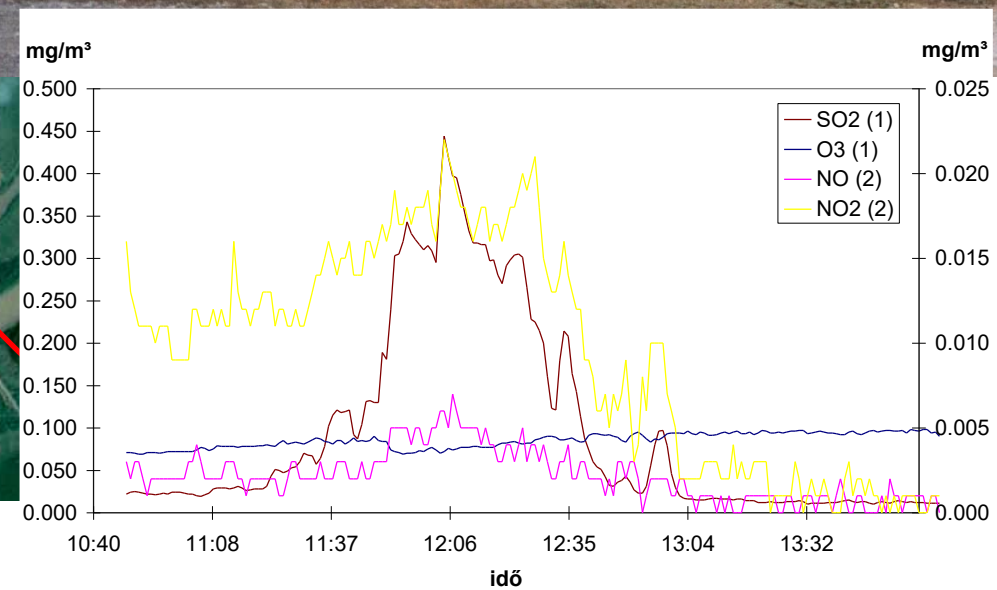


Előbb utóbb minden környezeti anailtikából ipari projekt lett..



Szénhidrogén-tüzelés hatása a
levegőminőségre Tiszaújváros környezetében

Felhígult füstcsóva mérése talajszinten Polgár külterületén



Repülőtéri levegőninőség monitorozó rendszer építése

KFKI AEKI kordinátor
OMSz
IML-IFU Garmisch-partenkirchen
KFKI-MFA

Budapest Airport Rt.
Fővárosi Levegőtisztaság-védelmi Kft.
Technoorg-Linda Kft.



Mérőkocsi szerelése a tűzoltóságnál



Tizenkét órás szolgálat az 1-es pálya mellett

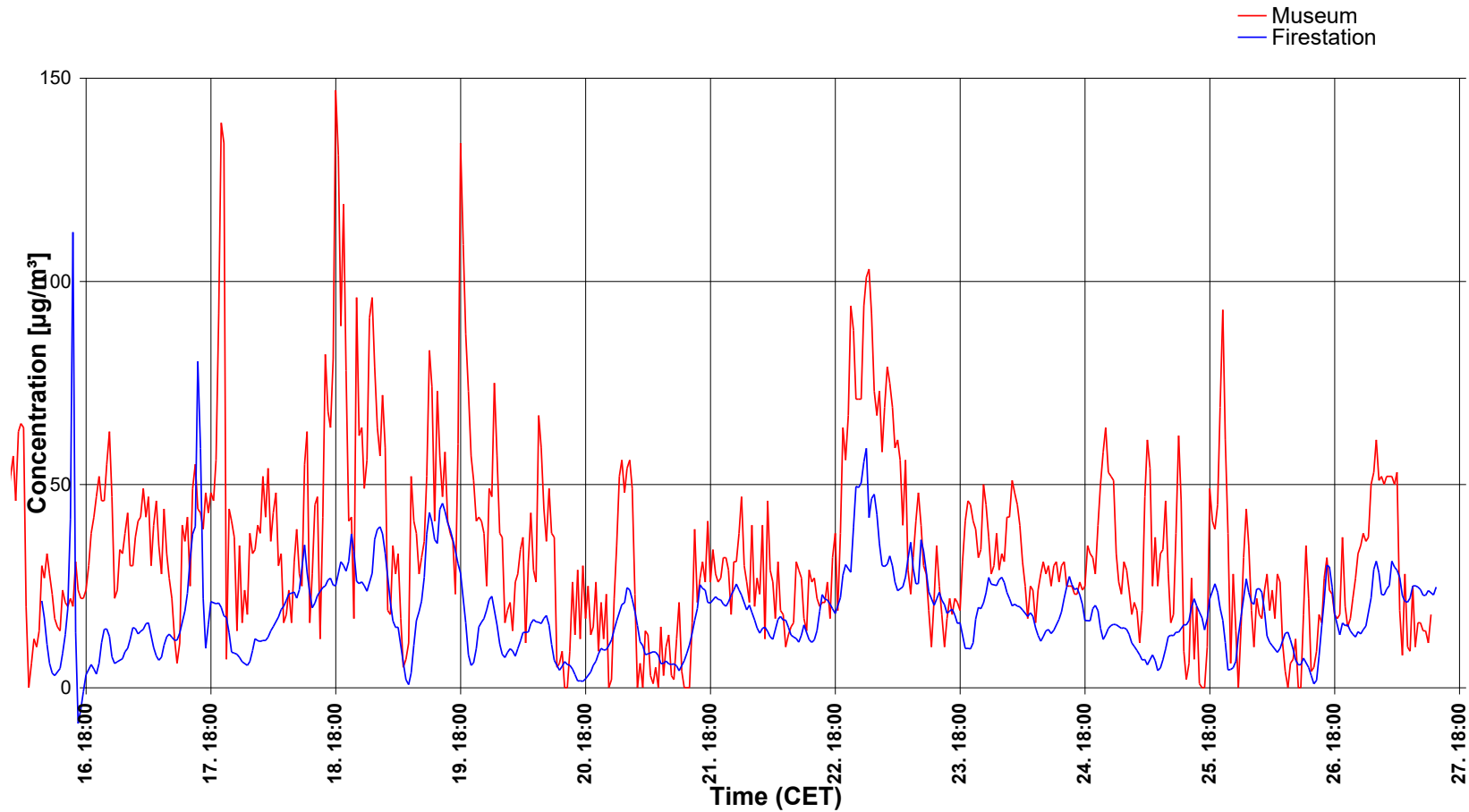
PM measurements with FH62 I-N; Thermo Electron

Airport Budapest Ferihegy

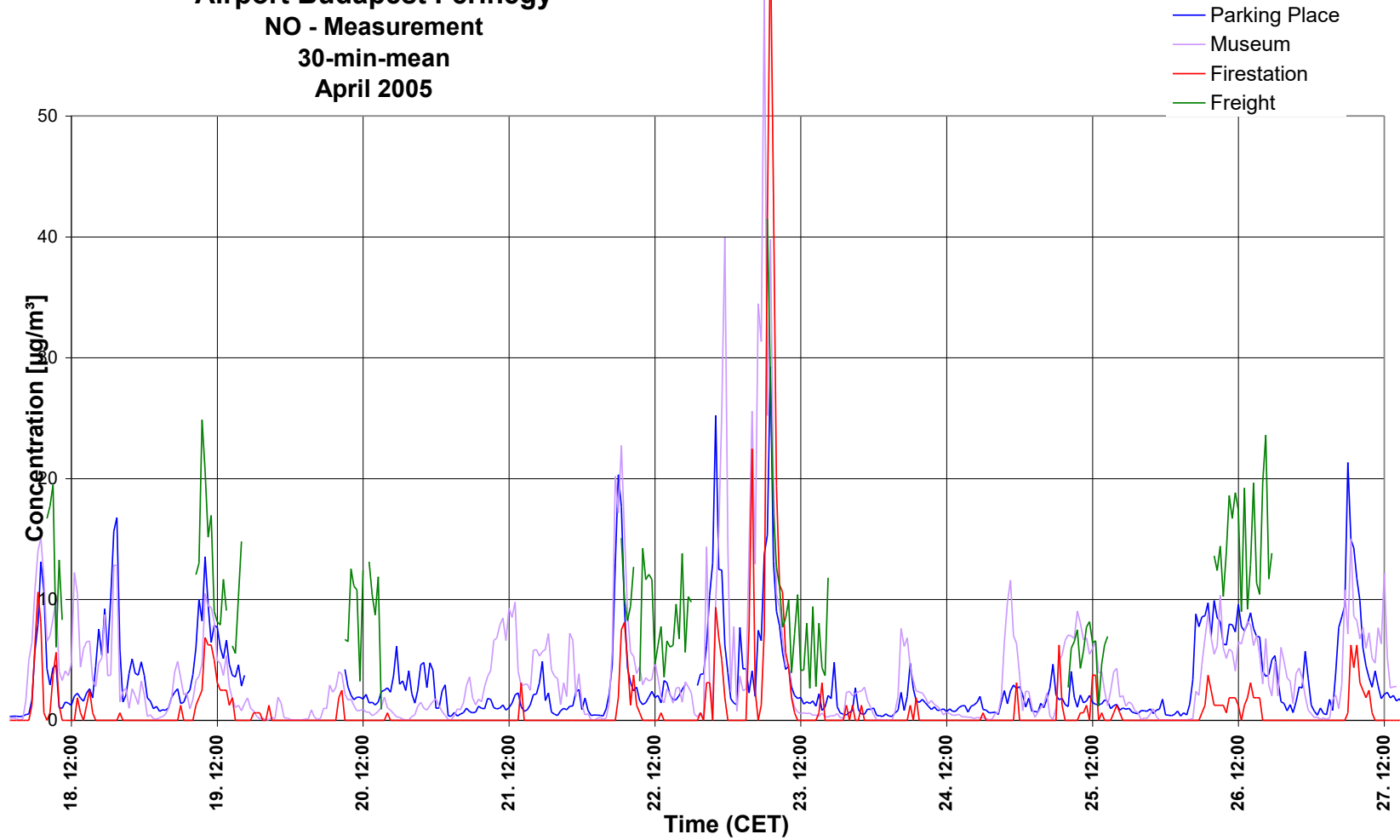
PM10 - Measurement

30-min-mean

April 2005



Airport Budapest Ferihegy
NO - Measurement
30-min-mean
April 2005



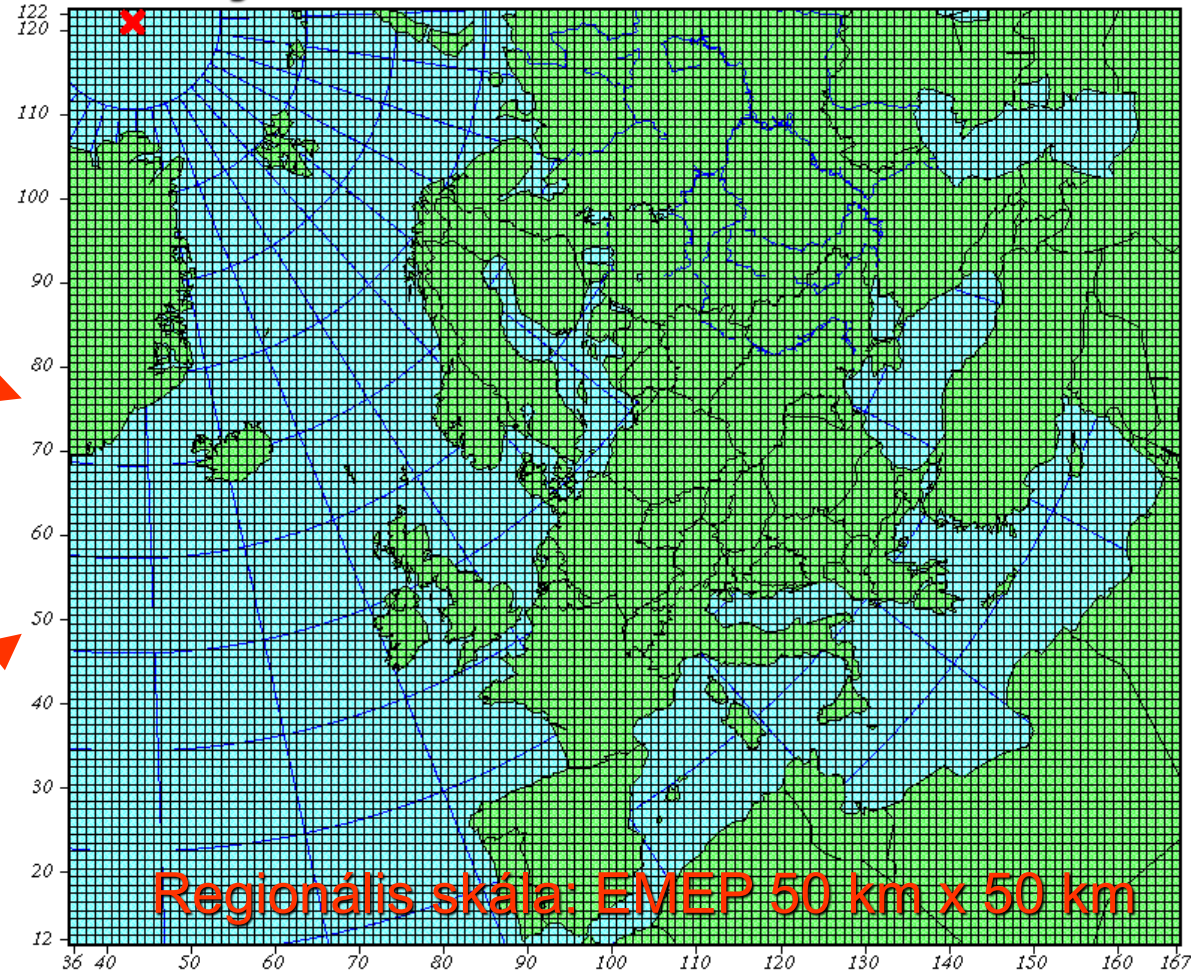
Környezeti kárbecslés alapja

hatásútvonal becslés - **terjedés**



Pontforrás
(vizsgált
referencia-erőmű)

Emissziós kataszter
(háttérkibocsátás)



Koncentrációnövekmény: két terjedésszámítás:
(a) csak háttérkibocsátás, (b) vizsgált pontforrás + háttér

**A fosszilis erőművek által okozott egészségkárosodás
költségvonzata 2000. évre**
(fogyasztói ár 15-20 forint)

Egészség - károso- dás	Szeny- nyező	Külső költség (Ft/kWh)						
		Tisza	Mátra II	Mátra DS	Pécs	Pécs gáz	Pécs GT	Lauffen
Morbi- ditás	TSP	0.17	0.45	0.45	0.40			0.01
	NO _x , nitrát	0.19	0.18	0.18	0.00	1.50	0.84	0.23
	SO ₂ , szulfát	0.99	7.69	0.76	5.85		0.30	0.07
	Összesen	1.35	8.32	1.39	6.25	1.50	1.14	0.30
Morta- litás	TSP	1.29	4.02	4.02	3.13			0.05
	NO _x , nitrát	1.52	1.61	1.61	0.05	13.57	7.56	1.82
	SO₂, szulfát	8.20	72.49	7.17	48.39		2.84	0.54
	Összesen	11.01	78.12	12.80	51.56	13.57	10.39	2.40
Morb+ Mort		12.36	86.44	14.19	57.80	15.07	11.53	2.70

Többszempontú döntési modell

Advanced modular
reactor technical
assessment

Nuclear Innovation and
research office, UK
2022



Table 3: Assessment of AMR Technologies with Respect to High-Level Criteria

	HTGR	SFR	LFR	MSR	SCWR	GFR
Timescales for delivery	Very High	Very High	Medium	Medium	Low	Low
Heat	Very High	Medium	Medium	High	Medium	High
Safety	Very High	Medium	Medium	Medium	Low	Low
Security	Very High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
UK Value	High	High	Medium	Low	Low	Low
Economic Cost	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Deployability	High	High	High	High	Medium	High
Adaptability	High	High	High	Very High	Medium	High
Waste & Environment	Medium	High	High	High	High	Very High
International	Very High	High	Medium	Medium	Low	Low

Régi és új nagy reaktor és egy W-SMR összehasonlítása.

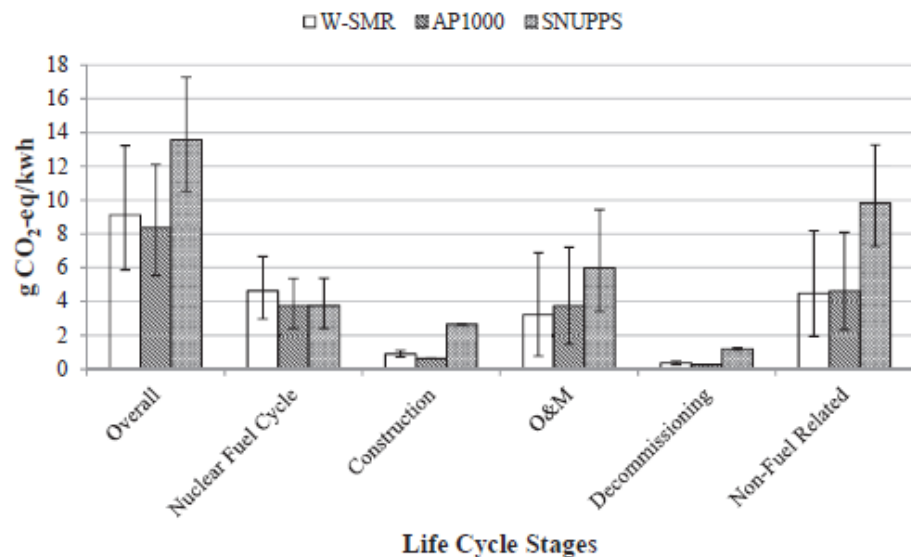


Fig. 2. Mean and 90% confidence interval CO₂-eq emissions for W-SMR, AP1000, and SNUPPS from Monte Carlo sampling.

A teljes CO₂ kibocsátás a Standardised Nuclear Power Plantre (SNUPP) a legnagyobb, de még ez is csak 13,6 g/kWh...

Carless, T.S.; Griffin, W.M.; Fischbeck, P.S. The Environmental Competitiveness of Small Modular Reactors: A Life Cycle Study. *Energy*, 114, 84–99. (2016)

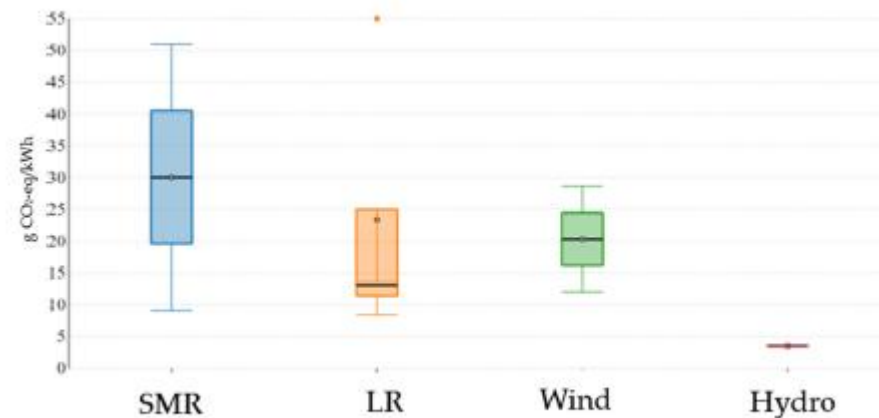
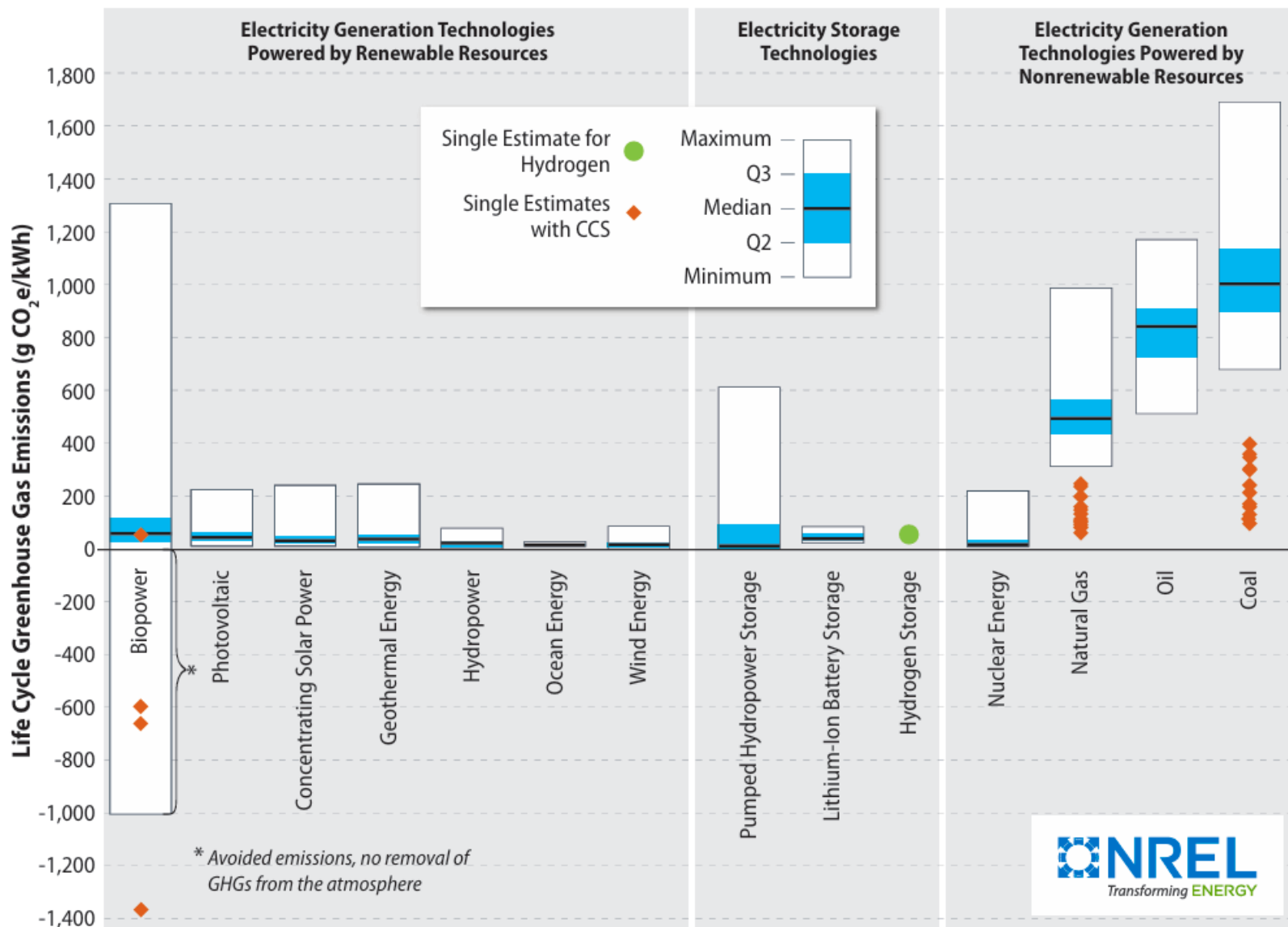


Figure 9. LCA Results according to various authors.

SMR- a kibocsátás itt is erősen függ az erőmű típusától és természetesen a használt üzemanyagtól (dúsítás, grade)

Forrás: Vinoya, C.L.; Ubando, A.T.; Culaba, A.B.; Chen, W.-H. State-of-the-Art Review of Small Modular Reactors. *Energies* **2023**, 16, 3224. <https://doi.org/10.3390/en16073224>

Figure 2. Life cycle greenhouse gas emission estimates for selected electricity generation and storage technologies, and some technologies integrated with carbon capture and storage (CCS).

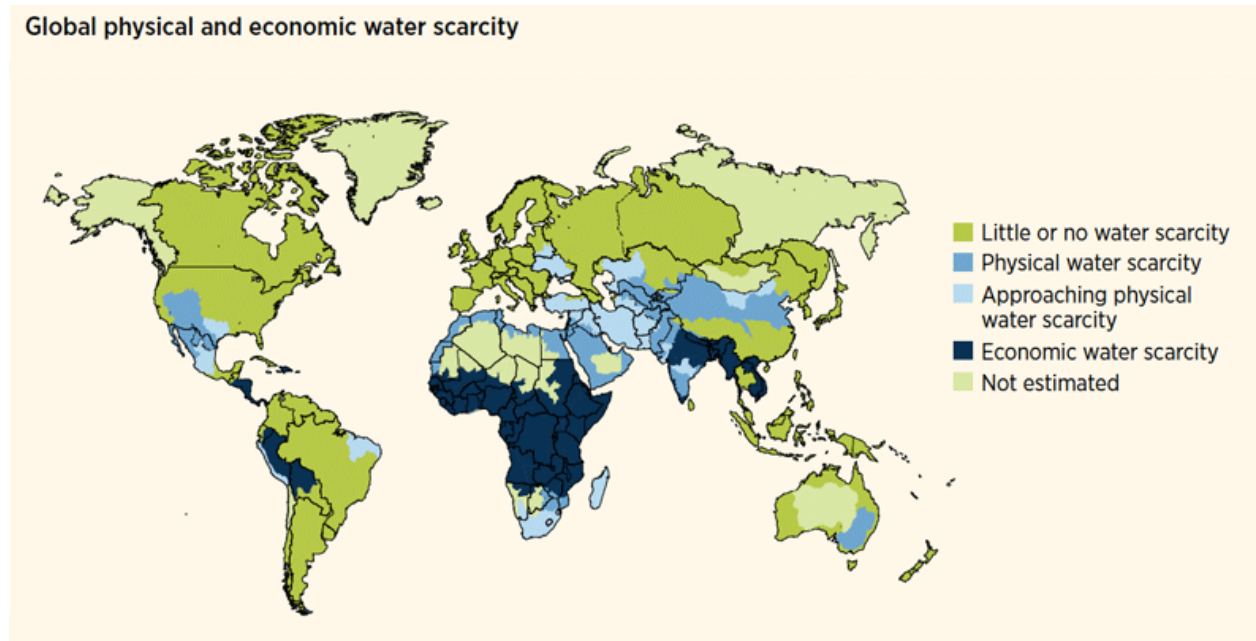


A vízhiány ma már globális léptékű probléma.

Az energiatermelés globálisan az egyik legnagyobb vízfelhasználó. Ez a tevékenység fogyasztja el a felszíni és a felszín alatti víz jelentős részét. 2014 és 2040 között várhatóan 60%-al fog nőni az energiaszektor vízfelhasználása

Afrika, Ázsia- jelentős vízhiány!!! És éppen itt lenne szükség még sok új erőműre.

OECD/IEA. *Water-Energy Nexus*; World Energy Outlook 2016 Excerpt; International Energy Agency: Paris, France, 2016.



A biomassza LCA vízigénye igen nagy.
Ha Carbon Capture and Storage (**CCS**)-t
alkalmazunk pl. szénerőműveknél-
jelentősen megnő a vízigény.

Az **atomerőművek** vízfogyasztása erősen függ
Az alkalmazott hűtési eljárástól- once through,
hűtőtorony, száraz hűtés
Száraz hűtéssel jelentősen csökkenthető a
vízfelhasználás.

Withdrawal-consumption

Napenergia- Az irodalomban vannak jelentős
vízigényt mutató tanulmányok is. Gyártás
vízigényes

Szélenergia- vízigény szempontból
ez tűnik a legjobbnak

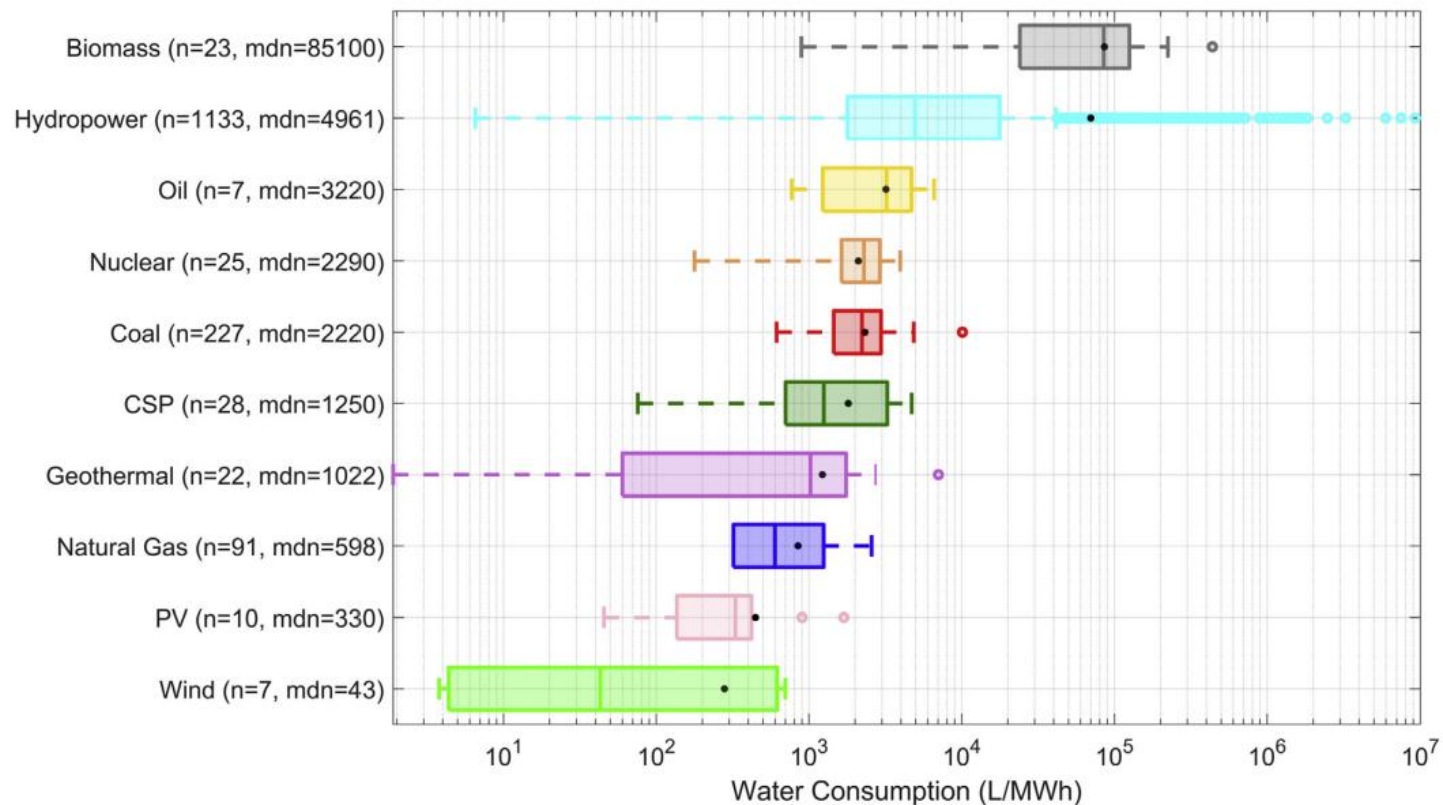


Fig. 1. Blue water consumption over the life cycle across energy generation types. Water consumption is visualized on a log scale. The annotation mdn gives the median value of water consumption for each fuel type. Circles represent the outliers, while the dots represent the average for each power type. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Estimated Subsidence in the San Joaquin Valley between 1949 – 2005

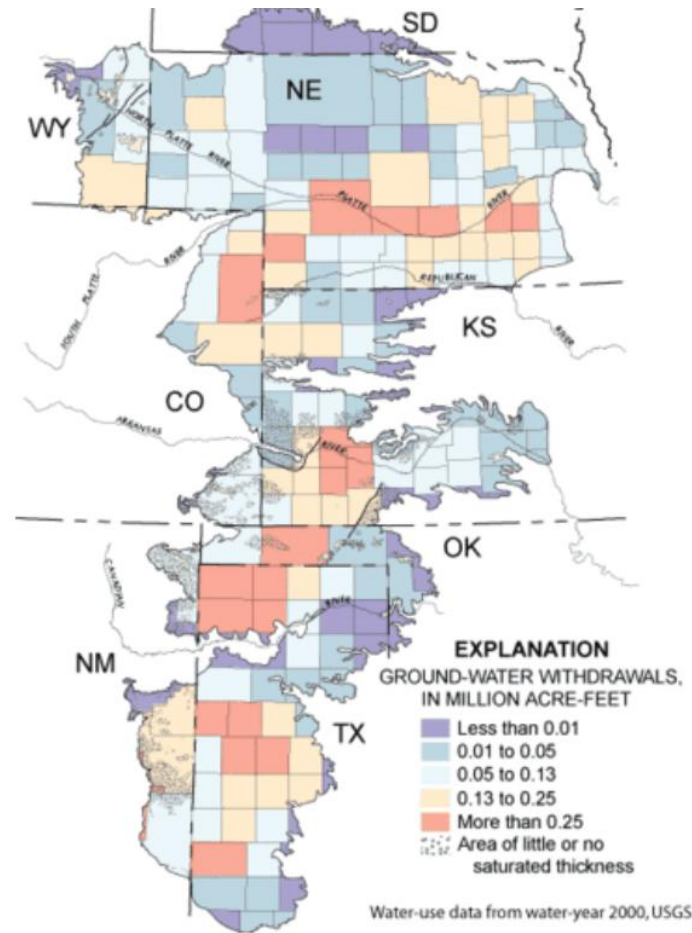
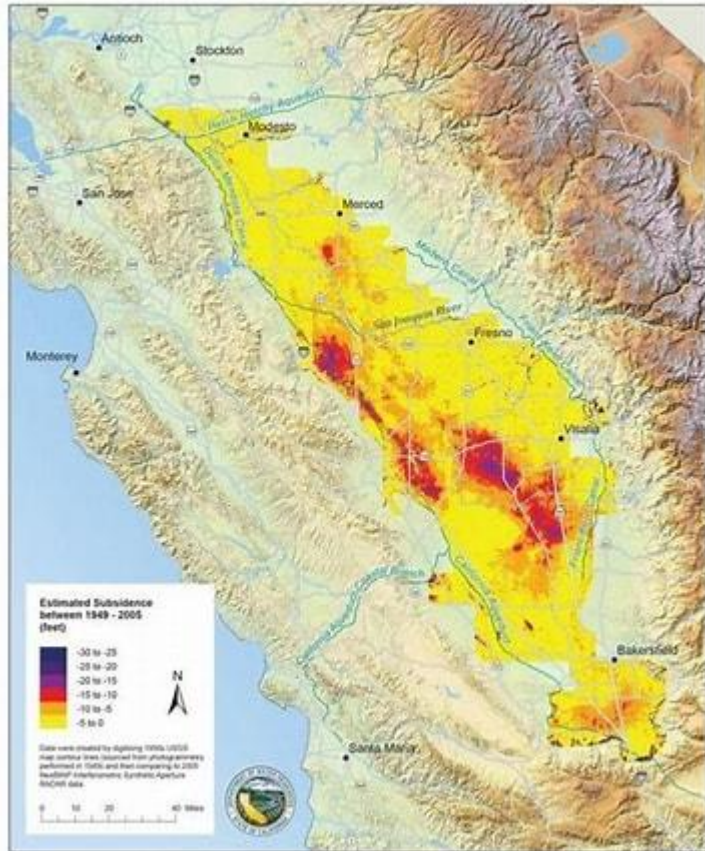
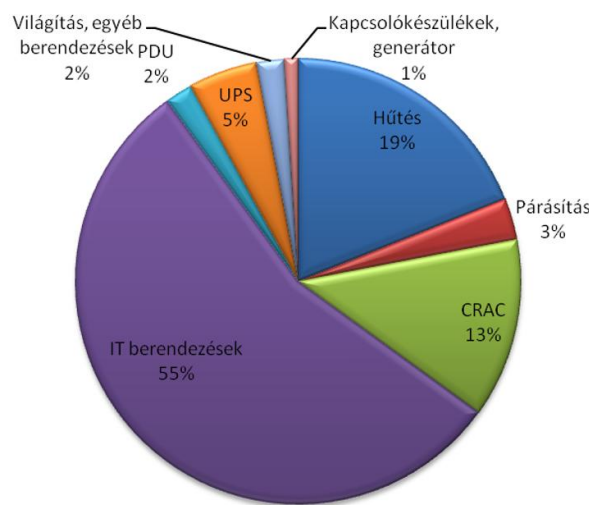


Figure 2. The Ogallala Aquifer is found beneath eight states and is heavily used.

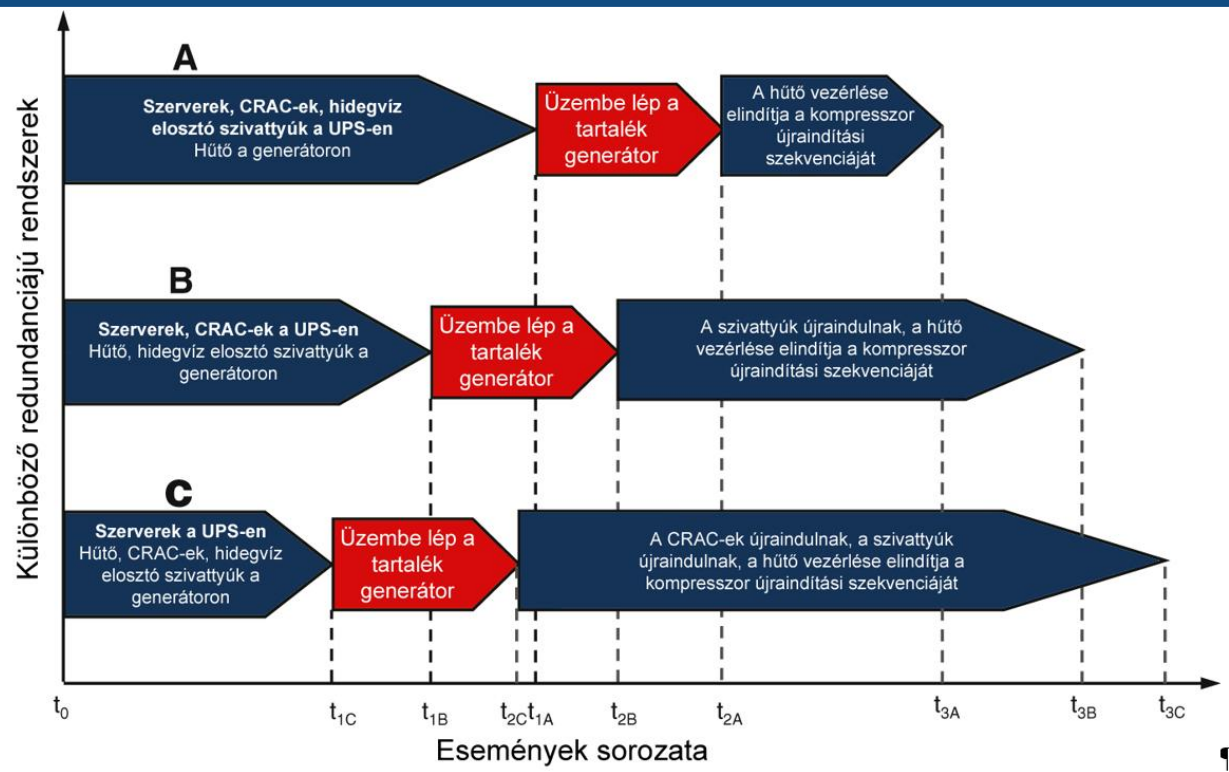
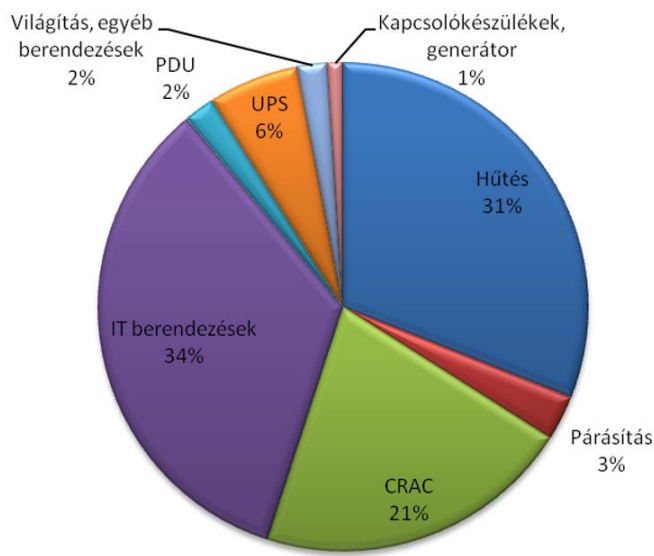


San Joaquin Valley subsidence, 1925-1977



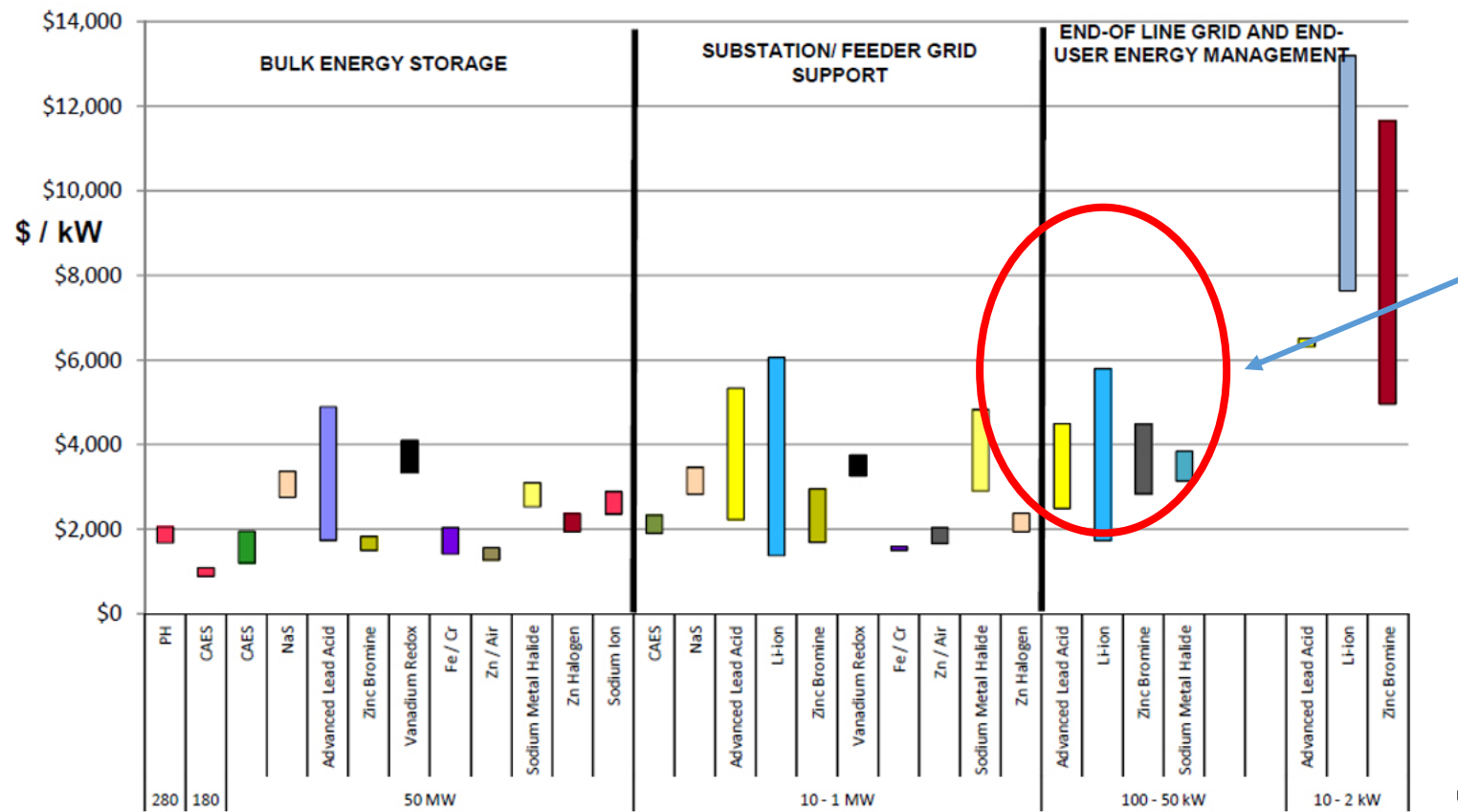
PUI=Teljes energiaigény/IT energia
Power usage effectiveness
CRAC=Computer room air conditioning

2-2. ábra: adatközpont villamosenergia-igényének megoszlása, PUE=1,8 esetén



2-4. ábra: üzemzavar eseményeinek lefolyása különböző redundanciájú adatközponti rendszerek esetén

Áramszünet fő oka (2024) 70% hűtőrendszer
Adatközpontok 27%-nak volt hosszabb (significant) áramkimaradása
Hosszab kimaradás akár 100.000 \$ kár



Adatközpont méretlépcső

3-14. ábra: energiatárolási technológiák teljesítményre vonatkoztatott fajlagos költségei (EPRI, 2012)

Az USA-ban egy év alatt 20 GW növekedés adatközpont igény miatt

Más az időbeli igény struktúrája

Trump tegnap utasította a J.H. Campbell széntüzelésű erőmű leállítását 271 nappal eltolni energetikai “vészhelyzet” miatt

PJM 67 millió embert lát el figyelmeztet, hogy tartalék kapacitásai nagyon beszűkültek

Európai Spallációs Forrás története (ESS)

2012-ben brüsszeli három pályázat: Debrecen, Bilbao, Lund
Döntés után Magyarország jelezte, hogy részt vállalna az építésben
2013-ban NKFIH-ESS MOU, magyar támogatás feltétele: a tagdíj 70%-a természetbeni beszállítás

Kutatás-fejlesztési együttműködés 2014- 2024 Ph.D. fokozatok a témában 2014
“Sugárvédelmi számítások az ESS leszereléséhez”, Spallációs céltárgy kiválasztása radioaktív hulladékosztály alapján PhD
ELTE Környezettudományi Doktori Iskola Kókai Zsófia 2020
Detektorfejlesztés (2 Ph.D BME fizika) 2016-2021 Dian Eszter (2019) Klausz Milán (2021) BME doktori iskola
Sugárvédelmi betonok radiológiája, Ph.D. Pannon Egyetem, Hajdú Dávid, 2024
Fúziós témában, de az NMX mérőkamra sugárvédelmének tervezése Ph.D. Náfrádi Gábor BME(2017) doktori iskola
>20 ESS_EK közös publikáció

Műszaki feladatok

Svéd hatóság számár készített előzetes leszerelési terv (2018)
NMX nyalábcsatorna építése, sugárvédelmi árnyékolás és neutron optika (2018-2024)
2017-ben ESS jelezte, hogy egy sugárvédelmi tartály gyártásában számítanak az EK-ra
2021-ben a NUVIA tervező irodával komoly jogvitába keveredett tervezés lassúsága miatt, 2021-ben komplex zsúrral lezárták a tervezési folyamatot, *csak előzetes tervek voltak svéd biztonsági előírásoknak nem felelt meg*
2021 novemberben EK-ESS megegyezik 7 db sugárvédelmi emelő és tartozékai terveinek átvizsgálása és a tartályok gépészeti részeinek gyártás-felügyelete és az irányítástechnikai rendszer megépítésében
2022-ben CASK3 gyárthatósági gondok megoldása
2023 gyártható tervek átadása, várható rendszer átvétel 2026 Q4 -2027 Q1

Projektvezető: Török Szabina D.Sc.

Részvevők:

Gépészeti csapat:

- Janik József projekt főmérnök
- Kovács Dániel Projekt mérnök
- Novotny Tamás főmunkatárs, projekt minőségügyi vezető
- Szentannai Pál irányítástechnikai szakértő (ESS IKRC Képviselő)
- Madas Balázs főmunkatárs, sugárvédelmi vezető (EKBI igazgató)

Elektronikai, irányítástechnikai csapat

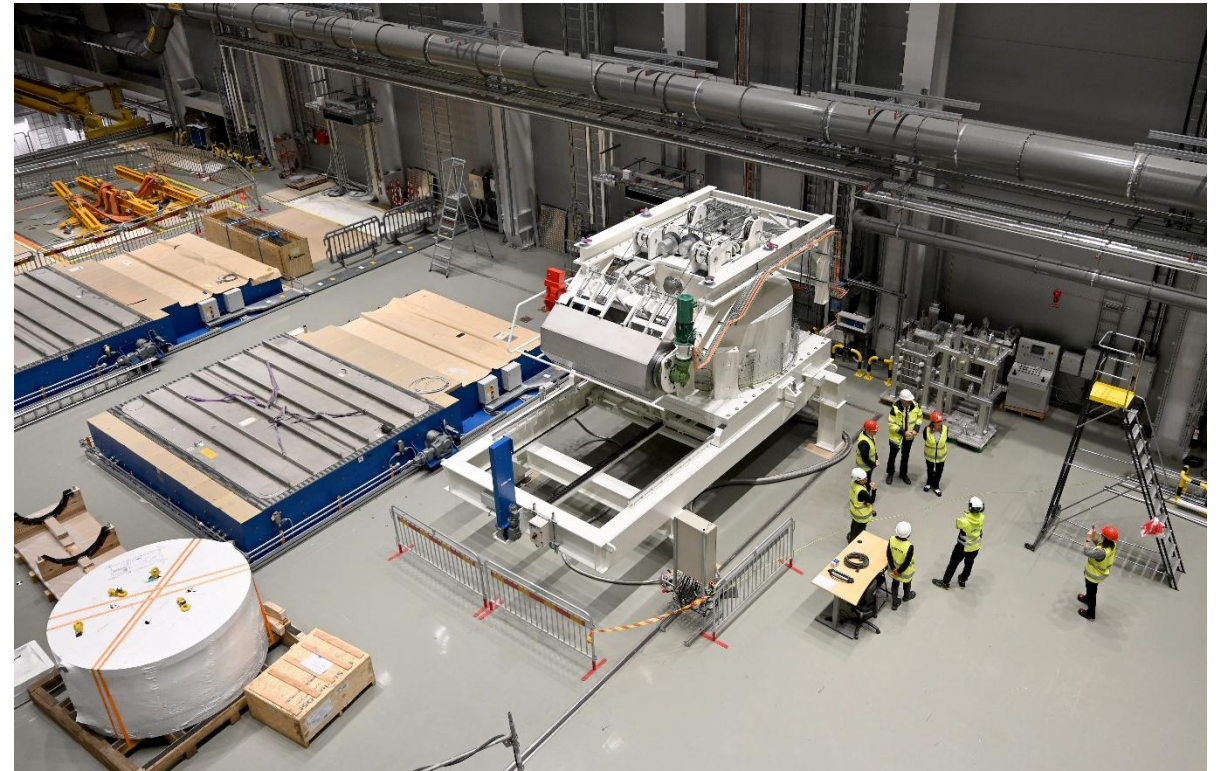
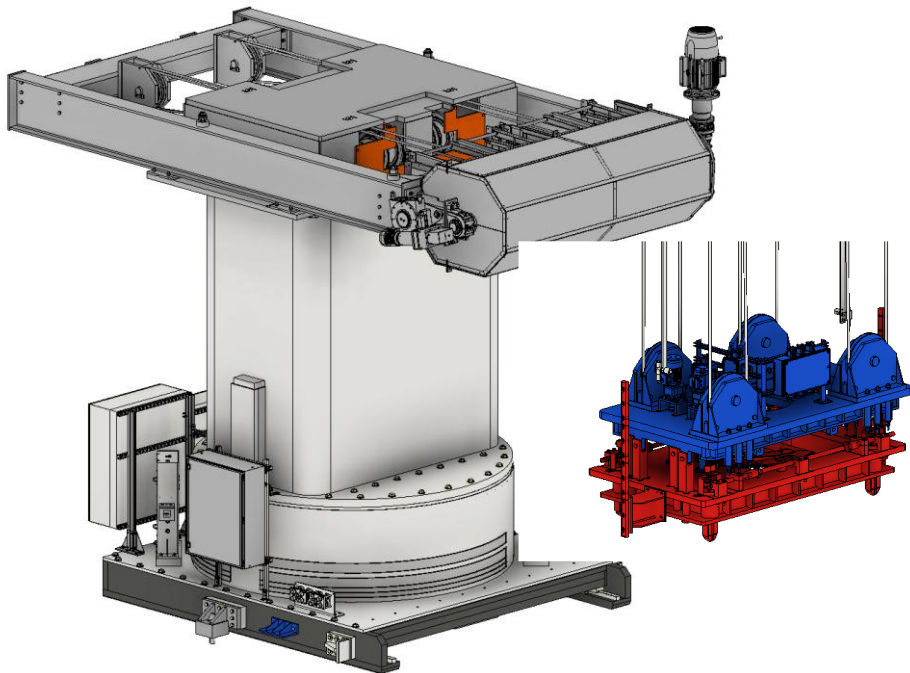
- Házi Gábor D.SC
- Makai Gergely mérnök menedzser
- Lipcsei Sándor informatikus

Alvállalkozók:

- Andritz kft. (Tiszaékcske)
- Asturfeito SA (Aviles)
- C3D kft. (Budapest)
- BP Master kft. (Versegyháza)
- Fonderie Lemer (Nantes)
- GK Industries kft (Miskolc)
- Linamar kft (Orosháza)
- Spinto kft (Miskolc)
- BME Nukleáris Technikai Intézet

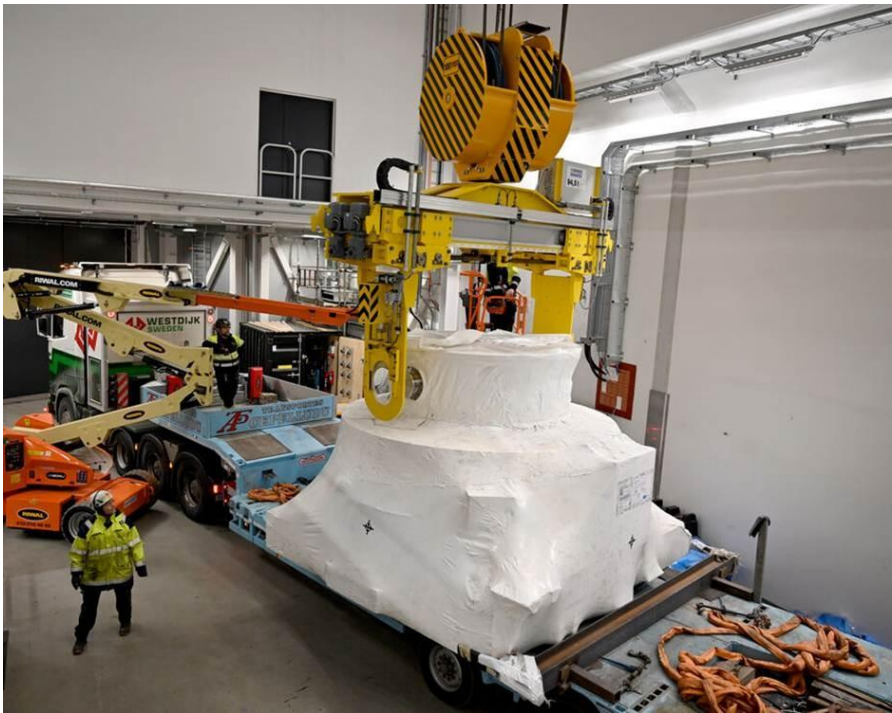
Cask assembly, általánosan

- 7db gyártandó Cask Assembly
- 5 fő részre bontható; Cask, Hoist, Cask Gamma Gate, MCDL, Umbilical cord
- 37t-92t nehéz szerkezetek,
- kb 4m·6m·5-9m méretű szerkezetek



Csak előzetes tervek voltak
Svéd biztonsági előírásoknak nem felelt meg
Pótlólagos tervezés+ zsűri

Sugárvédelmi árnyékoló tartály levétele a kamionról (gyártó Andritz kft.)



A tartály, emelőberendezés és gamma kapu összeszerelve a nagyköveti látogatáskor



Elkészült tartályok és gamma kapuk



Kutatótársak és inspirációk



Déry András ,
orgonaművész és karmester

„A tudós annál különb, minél több van benne a művészből és viszont. *Intuíció és fantázia nélkül a tudós legfeljebb téglahordója lehet tudományának.* Művész pedig szoros belső rend, szerkesztő logika nélkül megreked a művészet peremén”

MTA közgyűlés megnyitója 1948

Kultúrát (tudást) nem lehet örökölni. Az elődök kultúrája egykettőre elpárolog, ha minden nemzedék újra meg újra meg nem szerzi magának.