UPPSALA UNIVERSITET

Tjernobyl – Dit och tillbaka igen



Presentation för Forsmark-veteraner på Storbrunn i Östhammar
2026-11-11
Peter Andersson

UPPSALA UNIVERSITET

Acknowledgements

Denna reseberättelse är möjlig tack vare:

- Uppsala universitet (UU):
  Cecilia Gustavsson, Peter Jansson, Marcus Petersson
- ISPNPP & ChNPP:
  Maxim Saveliev med flera
- FOI:
  Anders Ringbom, Johan Kastlander, Tomas Fritjoff, Mattias Aldener, Carl Hellesen

Samt finansiering från Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM)!

UPPSALA UNIVERSITET

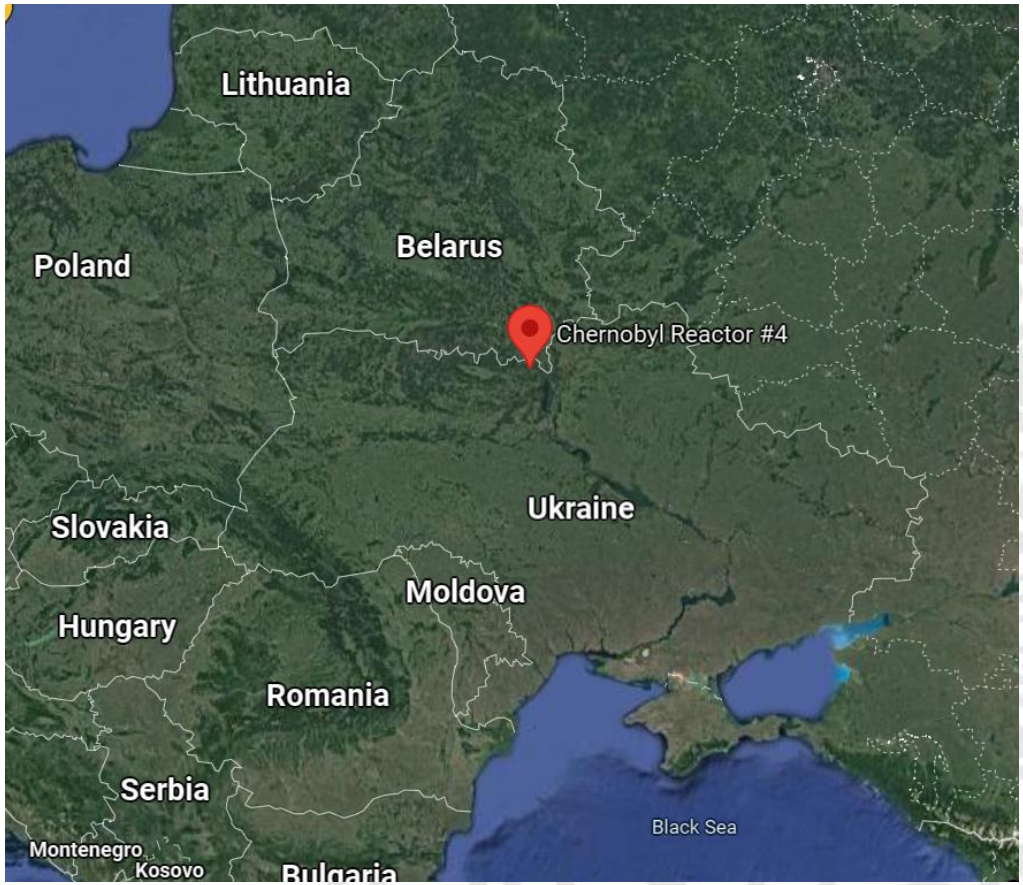
Outline

- Bakgrund om Tjernbylolyckan
- Kriticitet i bränsleinnehållande material – en legitim källa till oro?
- En originell idé: Assessing subcritical reactivity using radioxenon
- Besök i Tjernobyl december 2021.
- Epilog: Efter Putins anfallskrig

UPPSALA UNIVERSITET

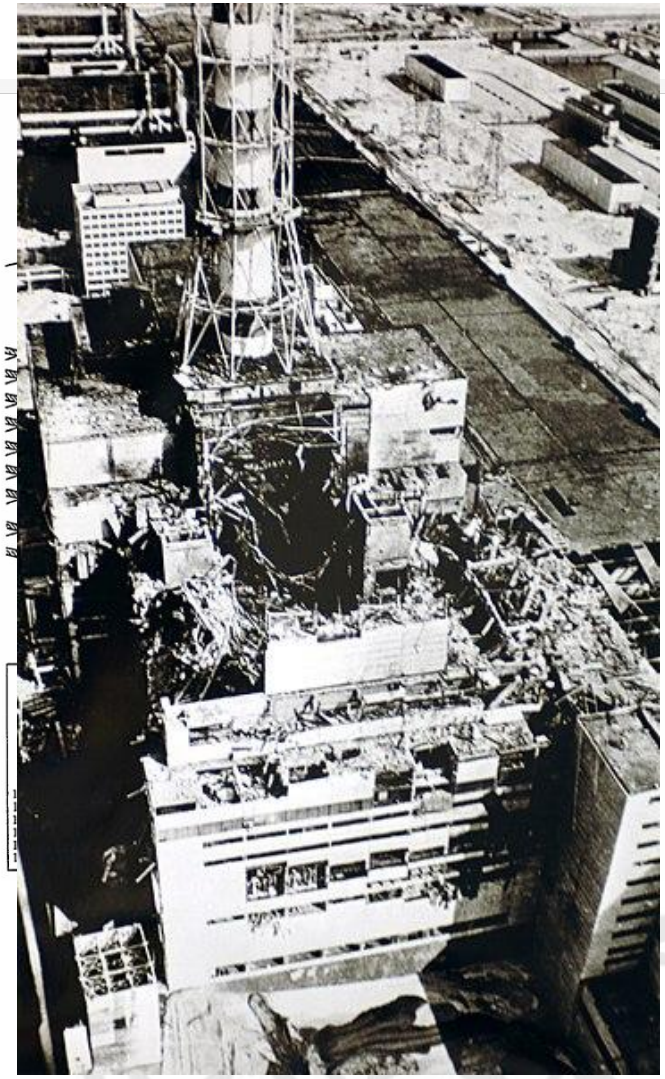
Tjernobylolyckan 1986

- Kärnkraftverket i Tjernobyl ligger i Ukraina, som tidigare var en del av Sovjetunionen.
- Den 26 april 1986 inträffade historiens värsta civila kärnkraftsolycka i reaktor 4 vid Tjernobyls kärnkraftverk.
- Explosion följt av härdsmälta.
- Storskaligt utsläpp av radioaktiva ämnen.



Tjernobylreaktorn (RBMK*)

- RBMK-reaktorns härd
  - Höjd: 7 m
  - Diameter: 11,8 m
  - Cirka 190 ton låganrikat uranoxidbränsle (LEU-UOX).
  - 1 659 bränsleknippen med en anrikningsgrad på 1,8–2,4 %.
- RBMK-reaktorn hade flera allvarliga konstruktionsbrister (ej uttömmande lista)
  - Positiv voidkoefficient (reaktiviteten ökar vid ökad ånghalt i kylmedlet).
  - Positivt reaktivitetstillskott vid snabbstopp (SCRAM).
  - Bristerna förvärrades av de ovanliga driftförhållandena vid olyckstillfället.
- Under ett säkerhetstest exploderade reaktorn.



*Реактор Большой Мощности Канальный

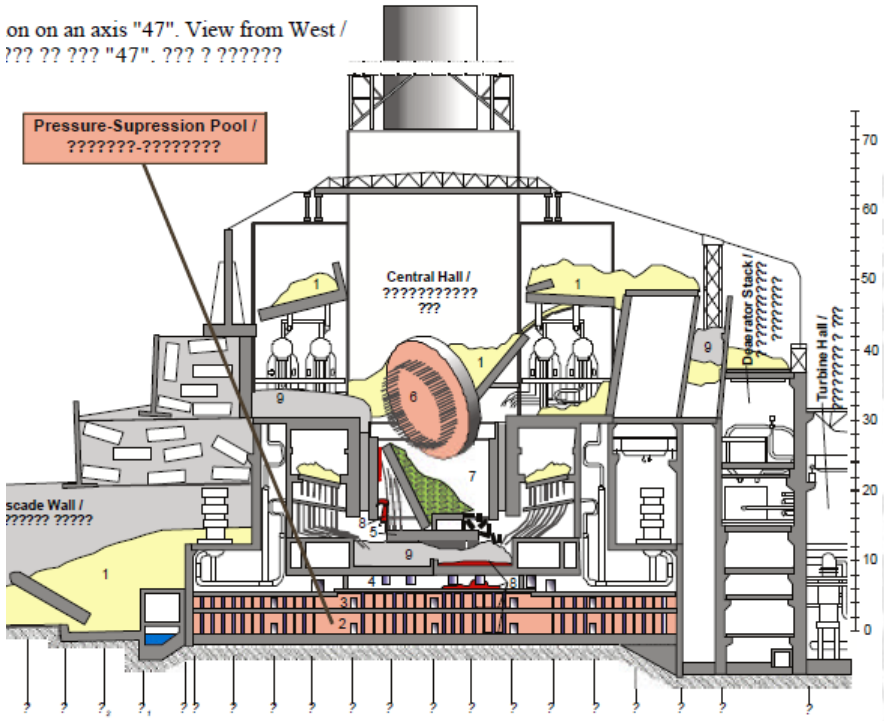
Sanering och återställning (likvidering) 1986 – idag

- Cirka 600 000 personer mobiliserades, de så kallade likvidatorerna.
- Enorma insatser gjordes under det första året för att bygga en skyddskonstruktion (Shelter Object, SO), även kallad sarkofagen. Den uppfördes på bara sju månader.
- Sarkofagen var en tillfällig konstruktion som med tiden började förfalla.
- En ny skyddskonstruktion (New Safe Confinement, NSC) byggdes över den gamla sarkofagen under perioden 2010–2019.
  - Kapsla in reaktorn och förhindra spridning av radioaktiva ämnen till omgivningen.
  - Möjliggöra rivning av den gamla sarkofagen.
  - Skydda reaktorresterna från väder och vind.
  - Skydda omgivningen från reaktorn.



Bränslets fortsatta öde

- Av de ursprungliga 190 tonnen kärnbränsle lämnade cirka 4 % reaktorbyggnaden.
- Resterande 96 % blev kvar i byggnaden.
- Bränslet föll ned i utrymmet 305/2 under reaktorn.
- Under de följande dagarna fortsatte bränslet att smälta, tillsammans med sand, betong, stål och andra material.
- Den smälta massan rann vidare till andra utrymmen i reaktorbyggnaden.
- Bränslet finns fortfarande kvar i form av så kallat bränsleinnehållande material (Fuel-Containing Materials, FCM):
  - Glasliknande lava
  - Pimpstensliknande lava
  - Fragment av bränsle och reaktorhärd
  - Aerosoler
- FCM är inte stabilt utan bryts gradvis ned.
  - Nedbrytningen leder till bildning av radioaktivt damm och aerosoler.



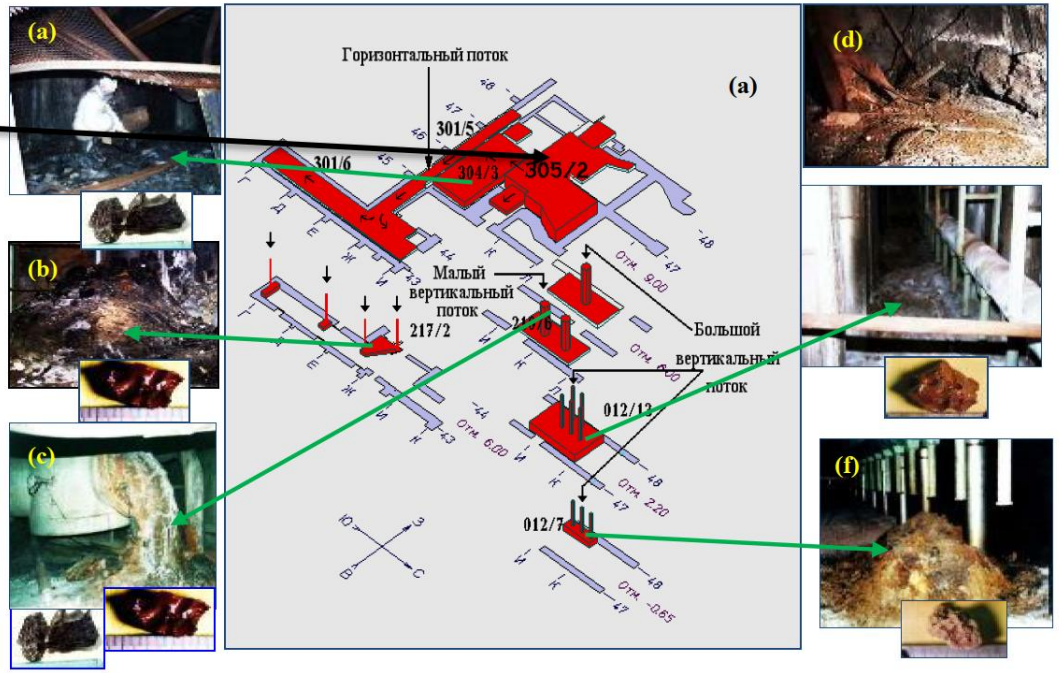
Reactor 4 post accident, from Boyer et al

Bakgrund om kriticitetssäkerhet

About 75 tons of molten and solidified material present in sub-reactor room 305/2.

About 20 ton of fuel melted partly through the concrete bottom slab of the reactor vault.

Studies show that certain uranium-water (created by flooding) or uranium graphite compositions (created by collapse) can allow for self-sustained fission reactions in such clusters.



Kriticitetsrisker

- Ett system för neutronövervakning (Neutron Monitoring System, NSMS) installerades 2014.

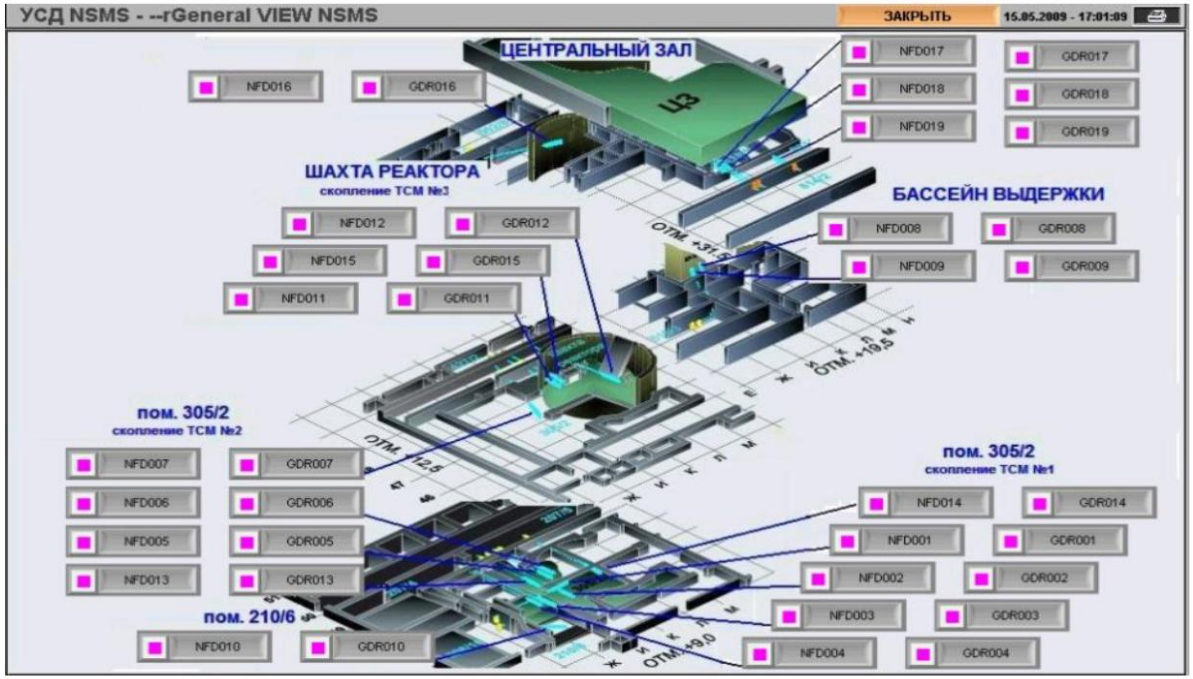


Fig. 3. Localization of monitoring points for MC NFD NSMS

Monitoring system, from Godun et al.

SCIENCEINSIDER | EUROPE

‘It’s like the embers in a barbecue pit.’ Nuclear reactions are smoldering again at Chernobyl

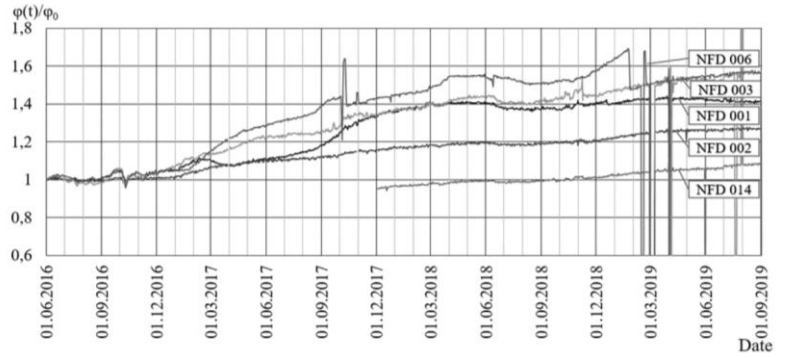
Slow rise in neutrons stirs concerns about possible “criticality” accident

3 MAY 2021 - BY RICHARD STONE

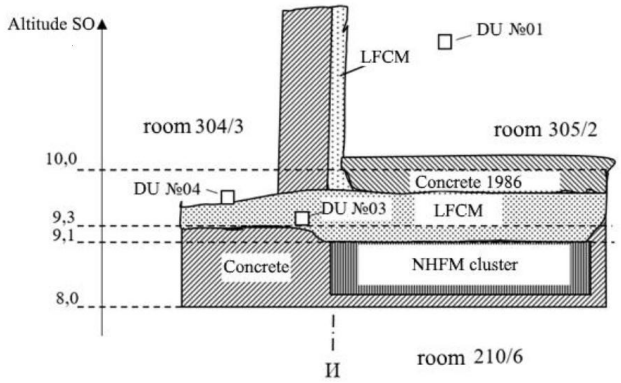


Brister i neutronövervakningen

- En ökande neutronsignal har väckt oro.
  - Vissa forskare har påpekat att de mest kritiska områdena inte övervakas tillräckligt effektivt av det befintliga detektorsystemet.
  - Detta gäller särskilt utrymmet 305/2 under reaktorn.
- Om det bedöms finnas risk för återkriticitet kan motåtgärder bli nödvändiga,
- Sådana åtgärder kan påverka neutronövervakningssystemets kalibrering.
- En metod för att bedöma underkriticiteten oberoende av neutronmätningar skulle vara ett värdefullt komplement.



Neturon signal, from Godun et al.



Monitoring system, from Godun et al.

UPPSALA UNIVERSITET

Vår idé: Radioxenon som oberoende indikator på fissionsaktivitet

- Radioaktiva xenonisotoper bildas vid fission och kan användas för att övervaka förändringar i fissionsaktiviteten hos bränsleresterna
- Mycket känsliga mätsystem, exempelvis SAUNA, har utvecklats av FOI för övervakning av kärnvapenprov.
- Dessa system skulle potentiellt kunna mäta de mycket låga aktivitetskoncentrationerna av radioxenon inne i den nya skyddskonstruktionen (NSC).
- SAUNA använder β–γ-koincidensmätning och kan nå detektionsgränser i storleksordningen mBq/m³.

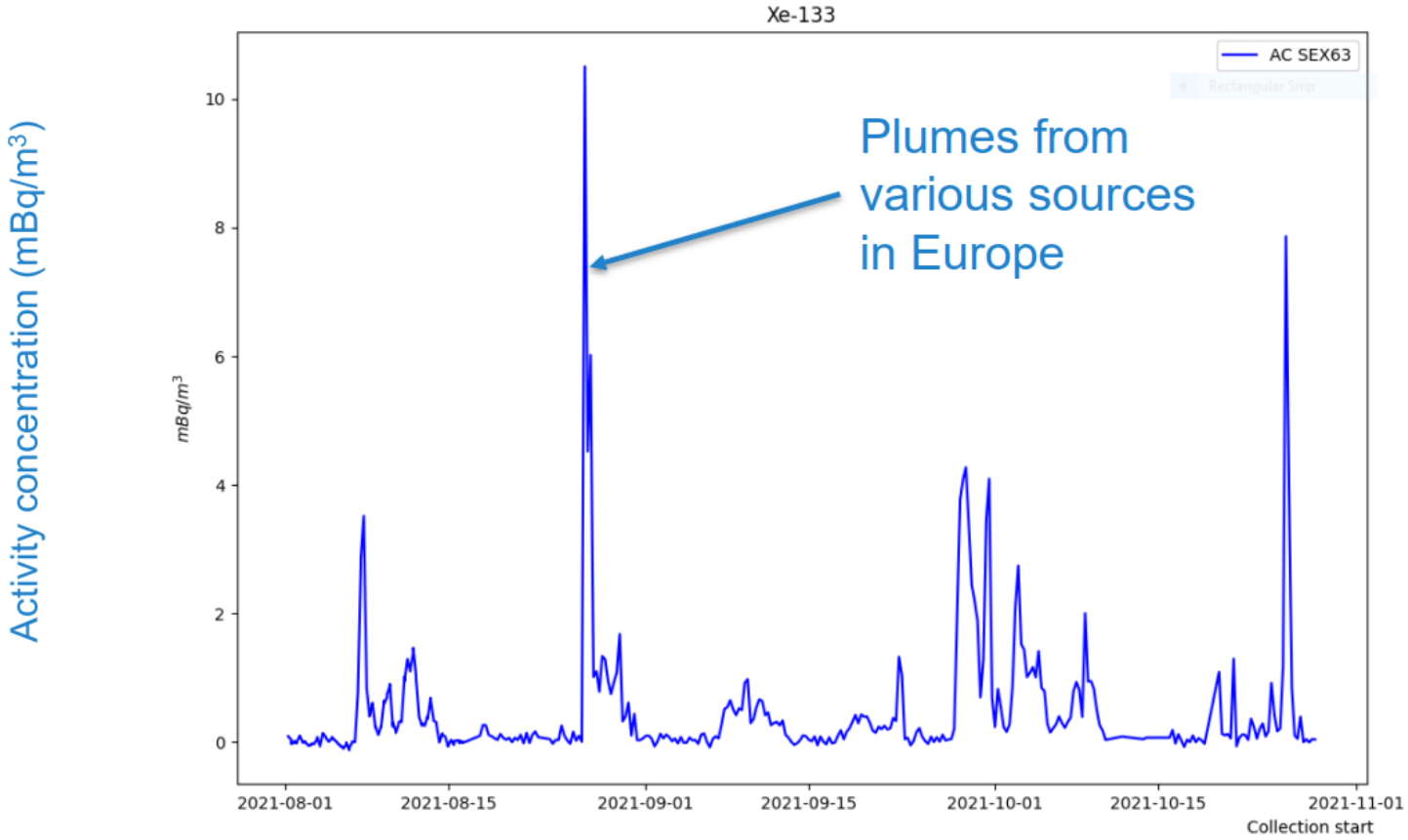




UPPSALA UNIVERSITET

S

^{133}Xe in Stockholm Aug-Oct 2021 (6h – samples)



Xenonmodellering

Källa

- Spontan fission
- Inducerad fission
- Beroende av k_s
- Sönderfall av modernuklider

Transport

- Diffusion från FCM till NSC
- Omblandning och ventilation till atmosfären

Förluster

- Radioaktivt sönderfall

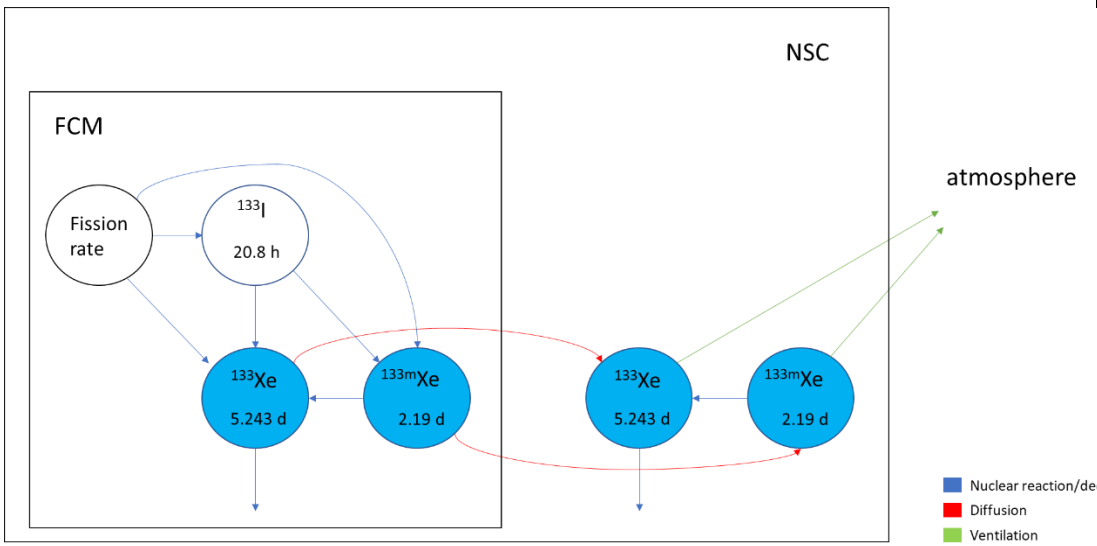
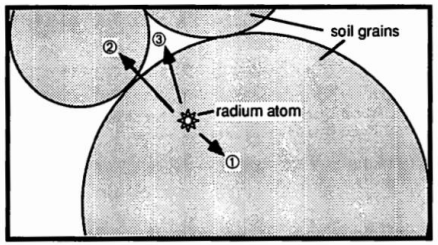


Figure 3. Exemplification using mass chain A=133, illustrating the compartments modelled for the xenon creation and subsequent transport to the NSC air.



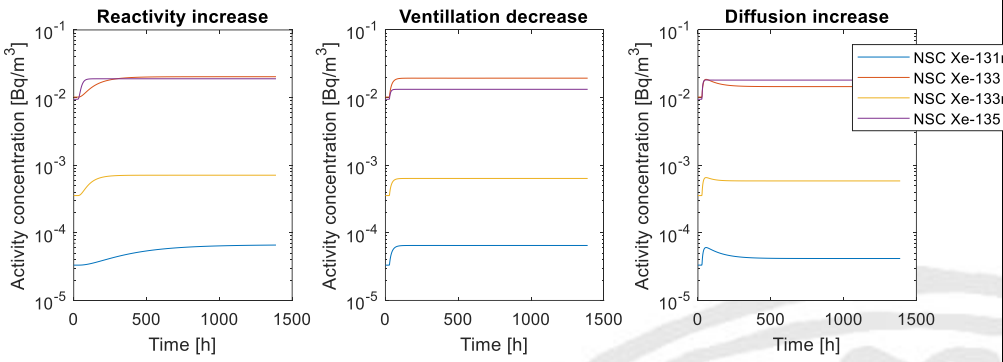
Radon escape from soil/rock grains (Schumann)

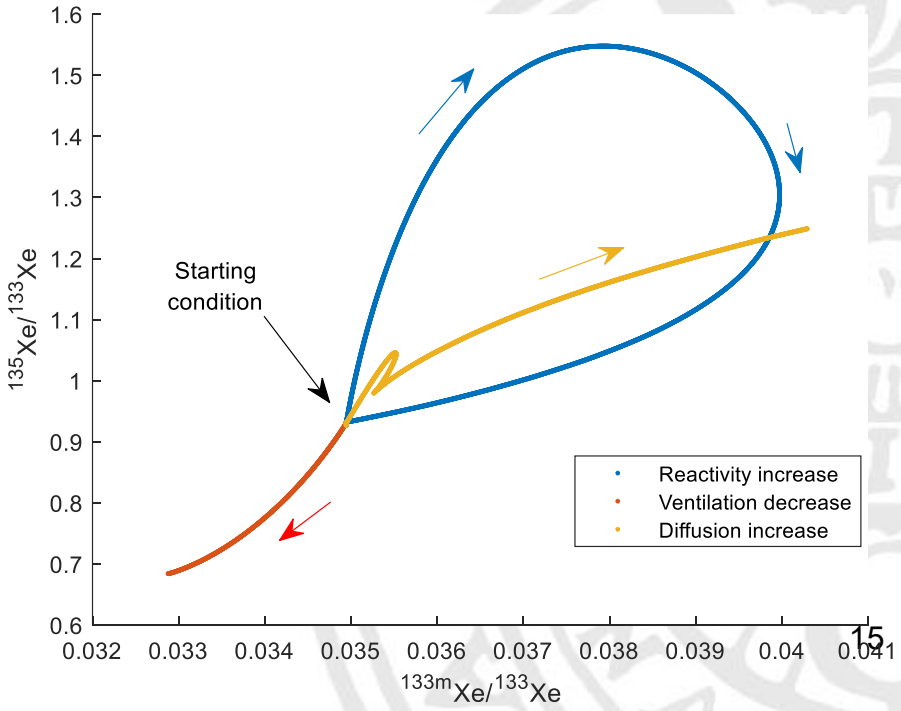


14

Xenondynamik

- Aktivitetsförändringar i New Safe Confinement (NSC) kan orsakas av flera saker
  - Reaktivitetsförändring
  - Ändrat läckage från FCM
  - Förändrat ventillationsflöde i NSC
- Med fyra xenon-nuklider finns möjlighet att tolka vad bakomliggande orsak är
- OBS: Enligt oprövade modeller



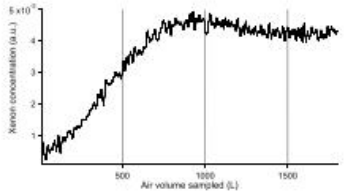


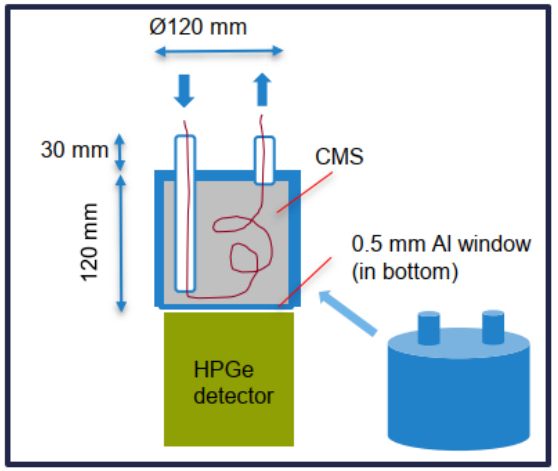
Plan for a visit to Ukraine

Equipment for feasibility study



Sampling of air





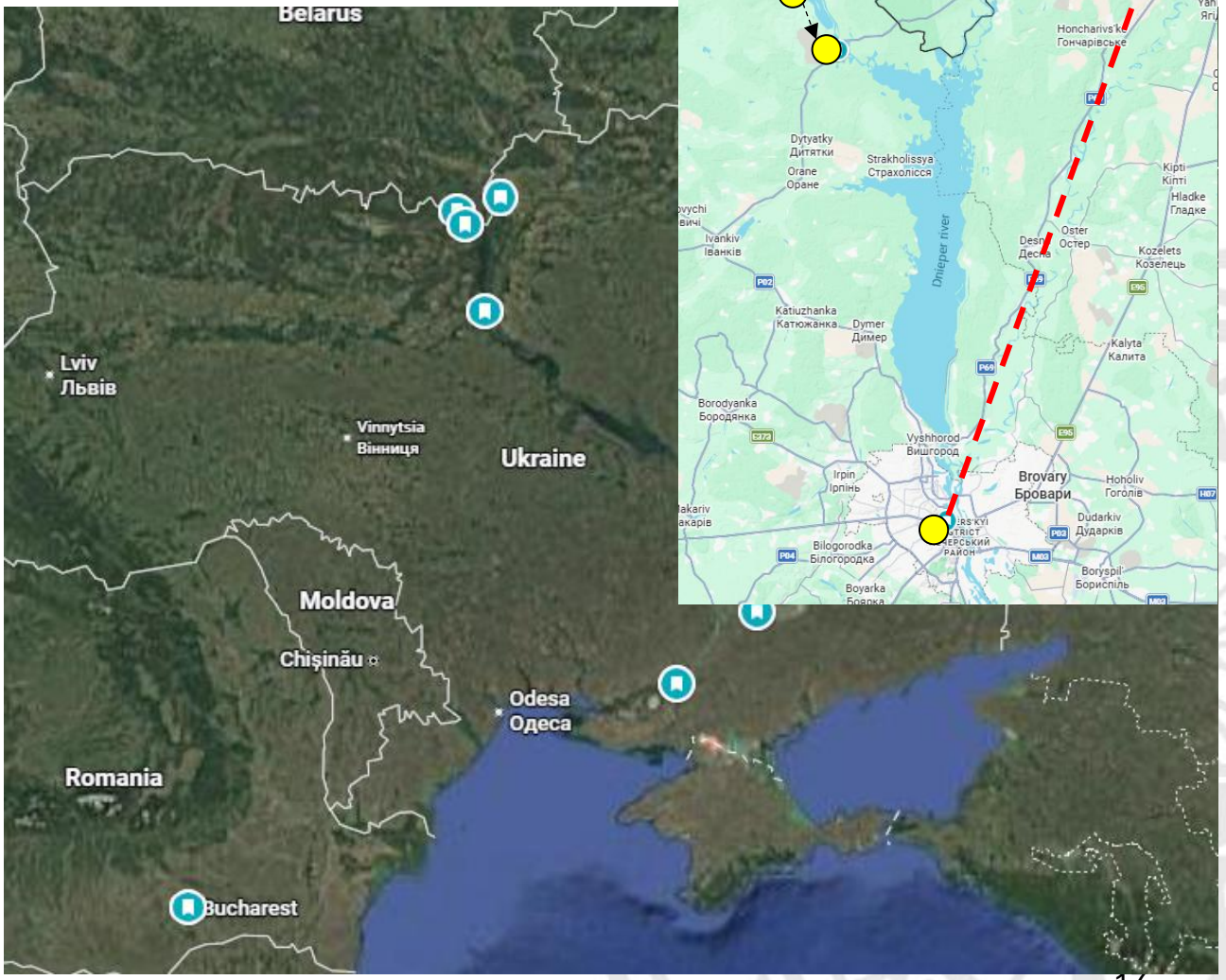
Measurement geometry

Easy to operate by ISP NPP NASU
Pump require power
Sampling time 2-4 hours

UPPSALA UNIVERSITET

Reseplan

- Stockholm-Kiev
- Kiev – Slavutich
- Slavutich – ChNPP
- CHNPP - Tjernobyl



UPPSALA UNIVERSITET

Slavutich

- Ersättningsstad för arbetarna som innan olyckan bodde i Pripjat





UPPSALA UNIVERSITET

Slavutich

- Ersättningsstad för arbetarna som innan olyckan bodde i Pripjat
- Välmående och nybygd stad



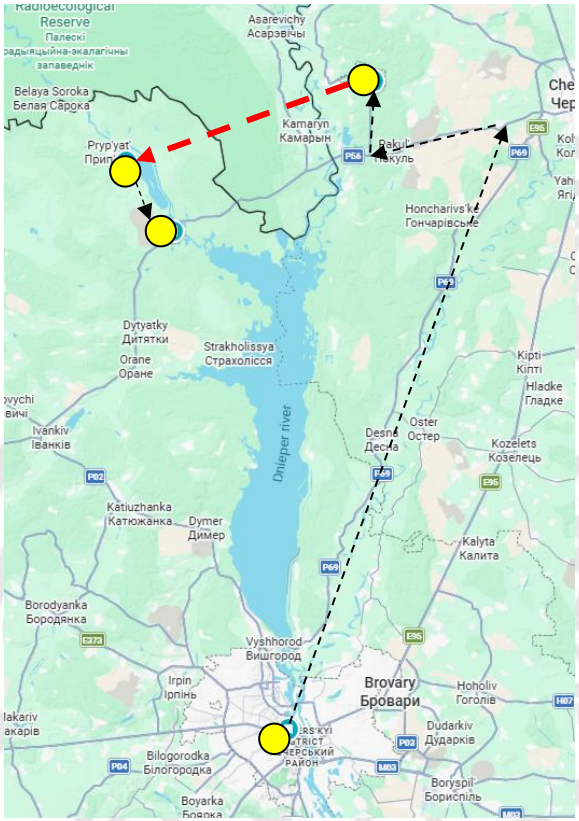




Tåg till Tjernobyl

- Tågresa till Tjernobyl
- Korsar gränsen till Vitryssland två ggr





UPPSALA UNIVERSITET

Tjernobyl

- Tåget tar en in i den evakuerade zonen
- Till kraftverket, varifrån vi åkte till Tjernobyl
  - Äldre småstad
  - Evakuerad men viss aktivitet finns kvar
  - (ISPNPP-labb exempelvis)
- Jmfr m. Pripjat som var en större stad närmare kraftverket
  - Byggd för arbetarna





Hotel Desyatka

- Vi hade rum på ganska trevligt men kallt hotel, Desyatka





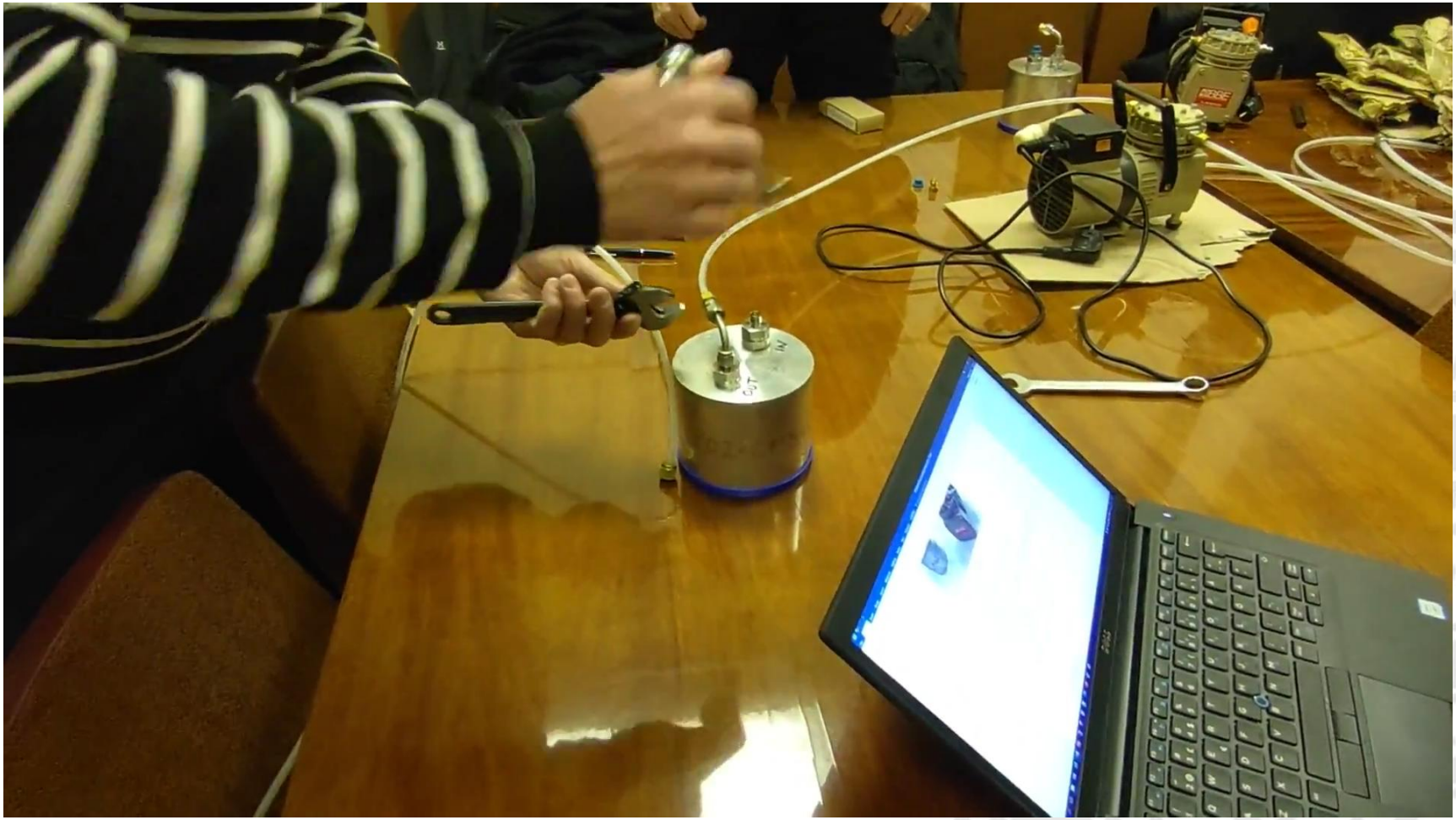
Bild från Chernobylx.com

UPPSALA UNIVERSITET

ISPNPP



UPPSALA
UNIVERSITET






ЧЕТВЕРТ –
ЗАЛИТЬ АЗОТ !

UPPSALA UNIVERSITET

ISPNPP



Fjärrstyrda robotar för undersökningar och arbete i starka strålfält, vid ISPNPP i Tjernobyl

UPPSALA UNIVERSITET

Pripjat – välkänt monument



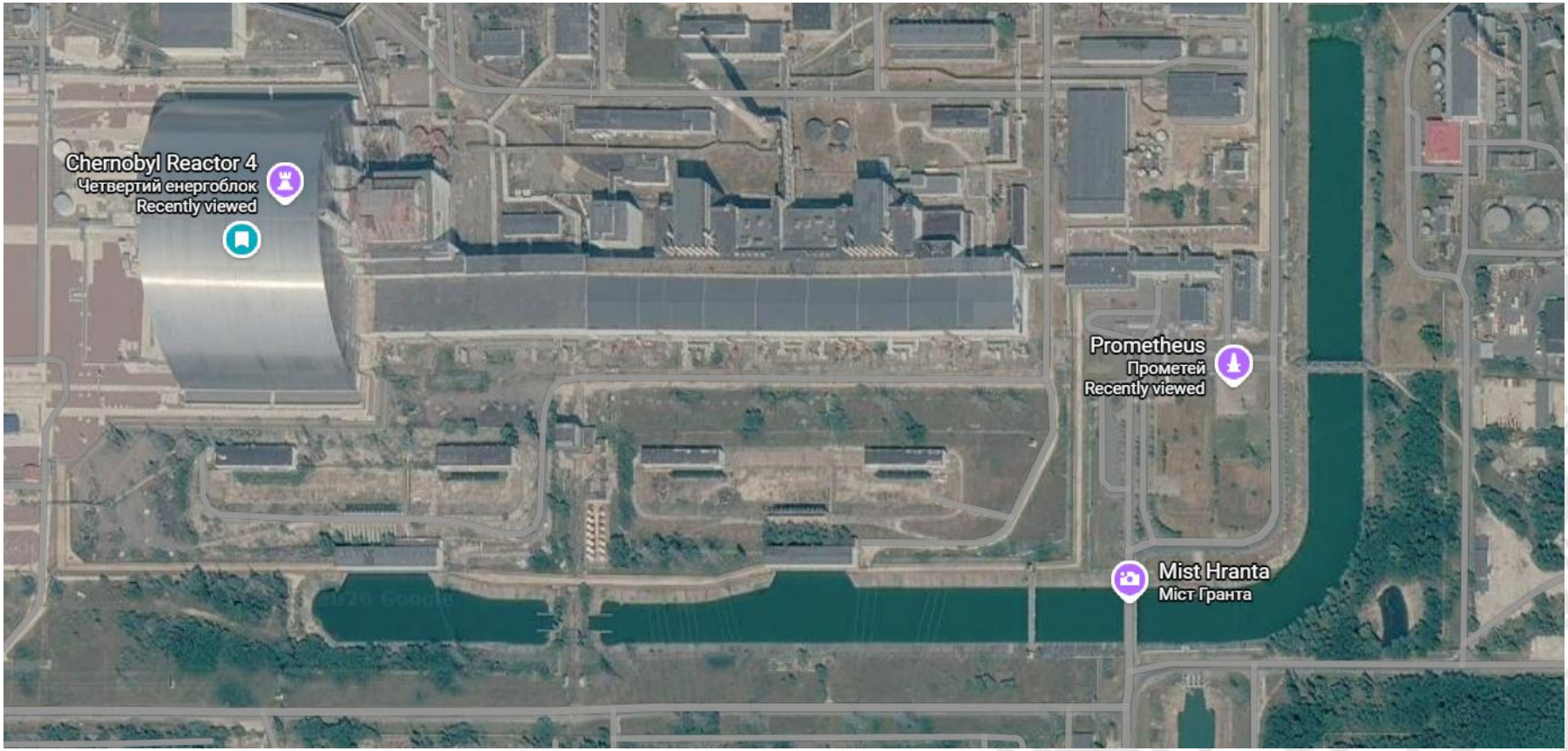
UPPSALA UNIVERSITET

Pripjat



UPPSALA UNIVERSITET

Tjernobyl



UPPSALA UNIVERSITET

Tjernobyls kärnkraftverk ChNPP

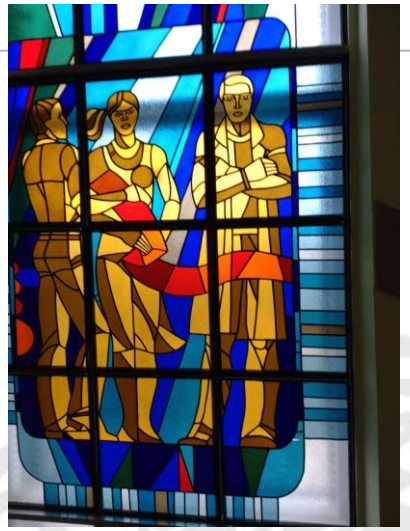


UPPSALA UNIVERSITET

ChNPP

Mer socialistisk utsmyckning









UPPSALA UNIVERSITET

ChNPP



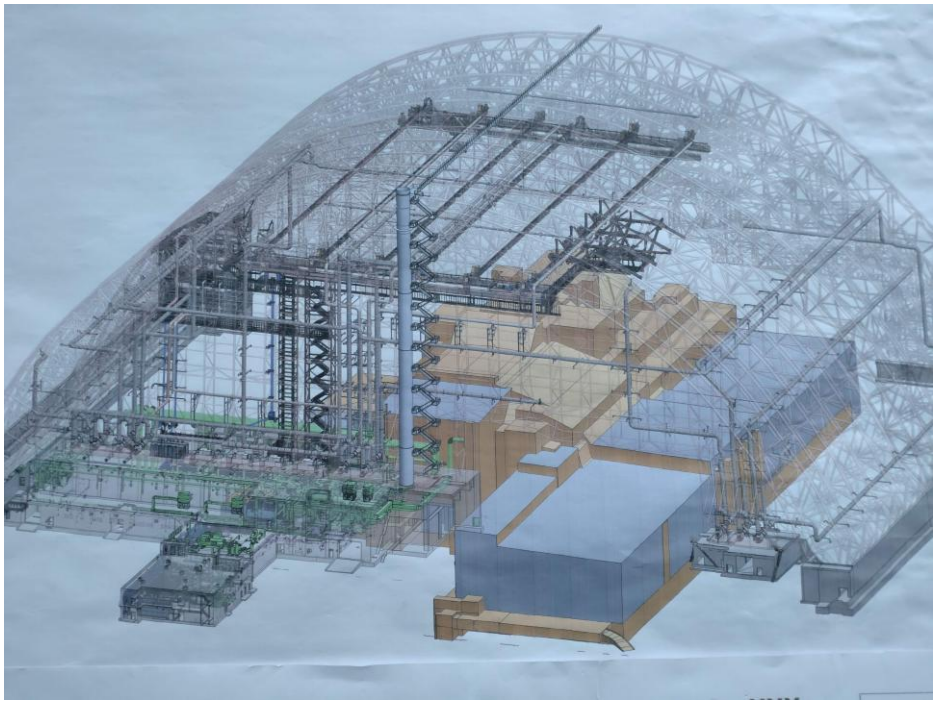






UPPSALA UNIVERSITET

ChNPP





UPPSALA UNIVERSITET

ChNPP







UPPSALA UNIVERSITET

Sarkofagen (The shelter unit)



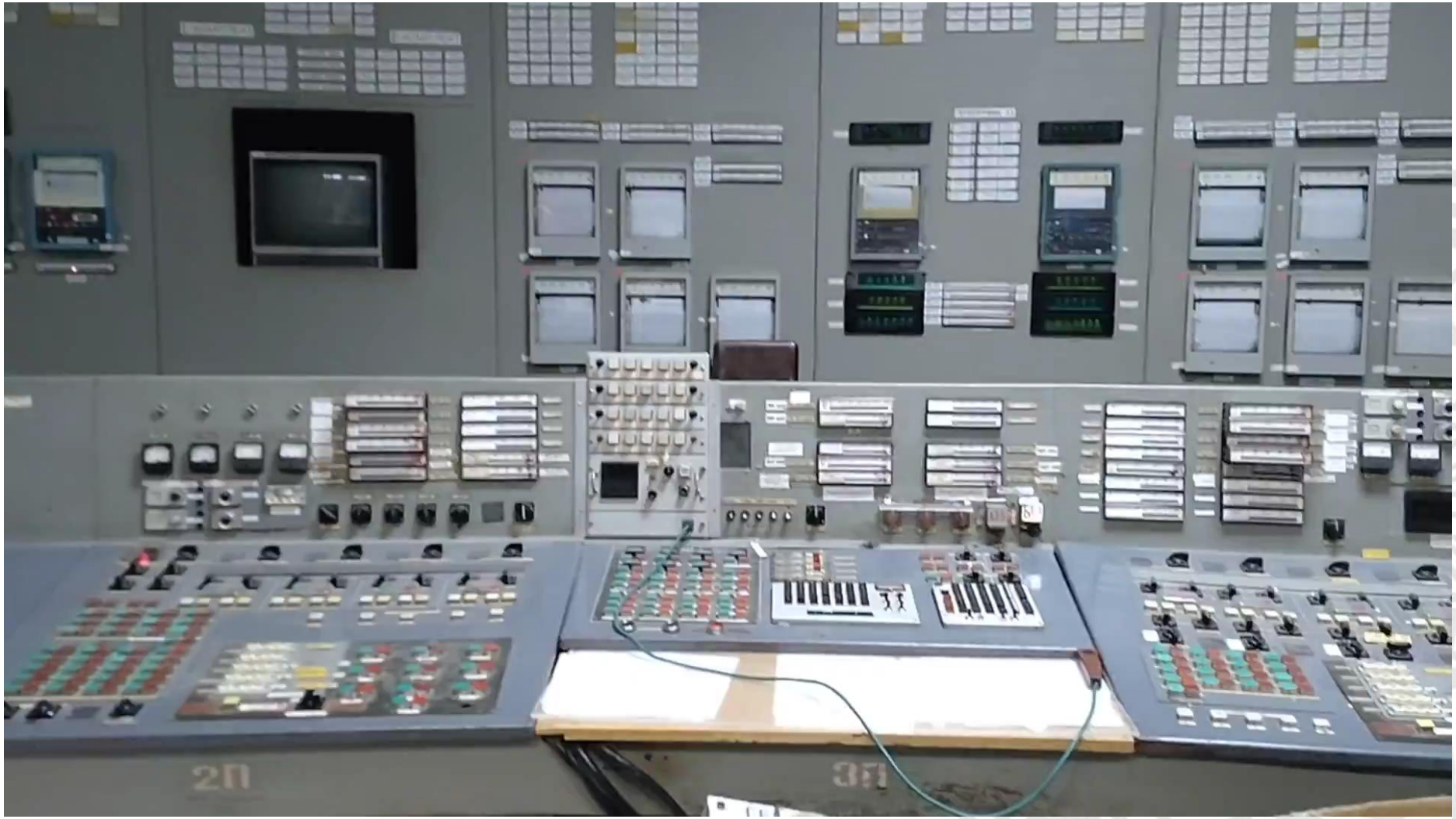
UPPSALA UNIVERSITET

ChNPP





UPPSALA
UNIVERSITET



UPPSALA UNIVERSITET

Tillbaka i Slavutich

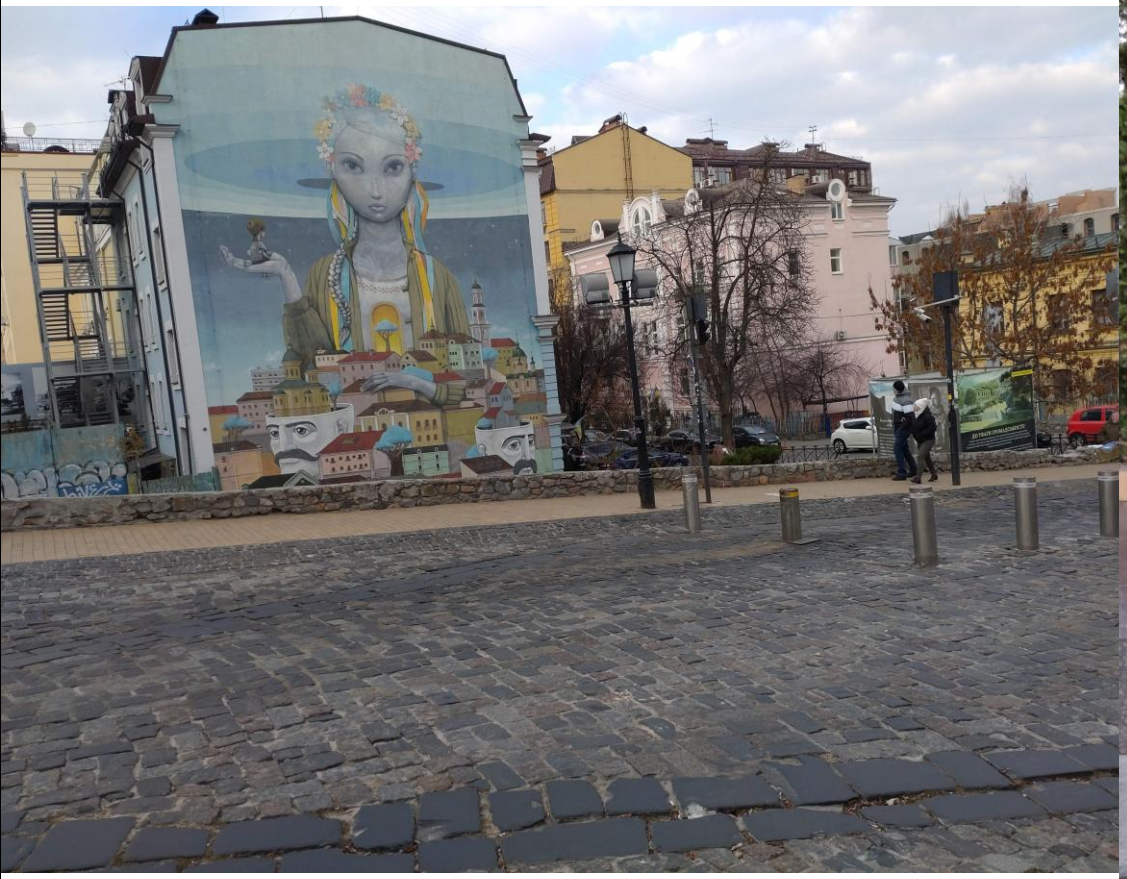




Avrundar resan med Hamburgere, pommes och öl, och förstås… engångshandskar i plast.

UPPSALA UNIVERSITET

Hemresa via Kiev





Epilog

- Tjernobylpersonalen gick in i sarkofagen och samplade xenon innan invasionen
- Xe-133 kunde inte påvisas -> under 1 Bq/m3
- Ett SAUNA-system har 3 storleksordningar bättre detektionsgräns och var planerat som nästa steg.



Sampling in borehole



Measurement on HPGe at ISPNPP laboratory.

UPPSALA UNIVERSITET

Referenser & vidare läsning

- A. Ringbom et al., Radioxenon measurements at the Shelter Object in the new Safe Containment at Chernobyl Nuclear Power Plant, FOI-R—5303—SE, ISSN 1650-1942, Mars 2022
- Richard Stone, ScienceInsider, May 2021, https://www.science.org/content/article/nuclear-reactions-reawaken-chernobyl-reactor
- ChNPP news release: https://chnpp.gov.ua/en/infocenter/news/5978-visit-of-swedish-defense-research-agency
- Om olyckan: INSAG-7, https://pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub913e_web.pdf