

Awaria czarnobylska w relacjach naocznych świadków

Marek Rabiński

■ Narodowe Centrum Badań Jądrowych

XX WEP, SAiP OW SEP – Politechnika Warszawska, SK4, 20 lutego 2019

Zagadnienia

- Reaktor RBMK i jego charakterystyki eksploatacyjne
- Awaria reaktora nr 4 CzAES
- Przebieg awarii, likwidacji skutków i ewakuacji we wspomnieniach uczestników

Pluton

- Transuranowiec o liczbie atomowej 94 (liczbie protonów w jądrze)
- Znanych jest 20 izotopów o liczbach masowych od 228 do 247 (ze względu na różną liczbę neutronów w jądrze)
- Wszystkie izotopy mają identyczne własności chemiczne – co praktycznie uniemożliwia ich rozseparowanie metodami chemicznymi
- Pu-238 – generatory stacji kosmicznych
- Pu-239 – głowice jądrowe

Izotop	Półokres rozpadu
Pu-228	1,1 s
Pu-229	120 s
Pu-230	1,70 m
Pu-231	8,6 m
Pu-232	33,7 m
Pu-233	20,9 m
Pu-234	8,8 h
Pu-235	25,3 m
Pu-236	2,858 y
Pu-237	45,2 d
Pu-238	87,7 y
Pu-239	24 110,0 y
Pu-240	6 561,0 y
Pu-241	14,290 y
Pu-242	375 000,0 y
Pu-243	4,956 h
Pu-244	80,8 mln y
Pu-245	10,5 h
Pu-246	10,85 d
Pu-247	2,27 d

Zawartość Pu-240 w plutonie

	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242
Superwysoka czystość do zastosowań militarnych		>97%	<3%		
Jakość militarna (głowice jądrowe) <7%		>93%	<7%		
Jakość reaktorowa (paliwo do reaktorów energetycznych) >7%	~2%	~53%	~24%	~15%	~6%



Pluton wojskowy Pu-239

- Specyficzne własności plutonu-239 powodują, że jest on praktycznie niezastąpionym materiałem na głowice jądrowe
- Jest wytwarzany w moderowanych grafitem reaktorach wojskowych – podczas naświetlania uranu-238 strumieniem neutronów, przez 2-3 miesiące w naturalnym lub lekko wzbogaconym uranie
- Pierwszy reaktor X-10 do produkcji plutonu-239 dla celów wojskowych został uruchomiony 4 listopada 1943 w Oak Ridge (USA)

Początki atomistyki

- 2 grudnia 1942 – Enrico Fermi uruchamia pierwszy reaktor jądrowy CP-1
- 4 listopada 1943 – rozruch reaktora X-10 do produkcji Pu-239 (Oak Ridge, USA)
- 20 lipca 1945 – Ł. Beria pełnomocnikiem d/s atomistyki
- 20 sierpnia 1945 – tajny komitet ZSRR d/s prac nad uranem
- 23 marca 1946 – decyzja KC o budowie Kombinatoru nr 817
- 16 lipca 1946 – test amerykańskiej bomby w Los Alamos
- 25 grudnia 1946 – Kurczatow uruchamia reaktor F-1
- 8 czerwca 1948 – uruchomienie pierwszego radzieckiego reaktora do produkcji Pu-239 (wzorowanego na X-10)
- 26 lutego 1949 – pierwszy pluton z Kombinatoru nr 817
- 29 sierpnia 1949 – test radzieckiej bomby atomowej na poligonie w Semipalatyńsku

Początki atomistyki ZSRR

- Produkcja plutonu-239 w Kombinacie nr 817 (późniejszych zakładach Majak) – reaktory na nisko-wzbogacony uran, z moderatorem grafitowym chłodzonym powietrzem/azotem
- 26 czerwca 1954 – propagandowe uruchomienie reaktora AM-1 w Obnińsku, 5 MW(e) / 36 MW(t) [14%]
- 17 października 1956 – Magnox w Calder Hall (GB) 50 MW(e) / 268 MW(t) [19%]
- 2 grudnia 1957 – PWR w Shippingport (USA) 60 MW(e) / 255 MW(t) [24%]
- Trudności ZSRR z wdrożeniem technologii reaktorów wodnych ciśnieniowych bezpośrednim impulsem do opracowania koncepcji reaktorów RBMK – rezultat rozmowy Nikity Chruszczowa z Jefimem Sławskim

Produkcja plutonu w ZSRR

- Laboratorium nr 2 (późniejszy Instytut Kurczatowa)

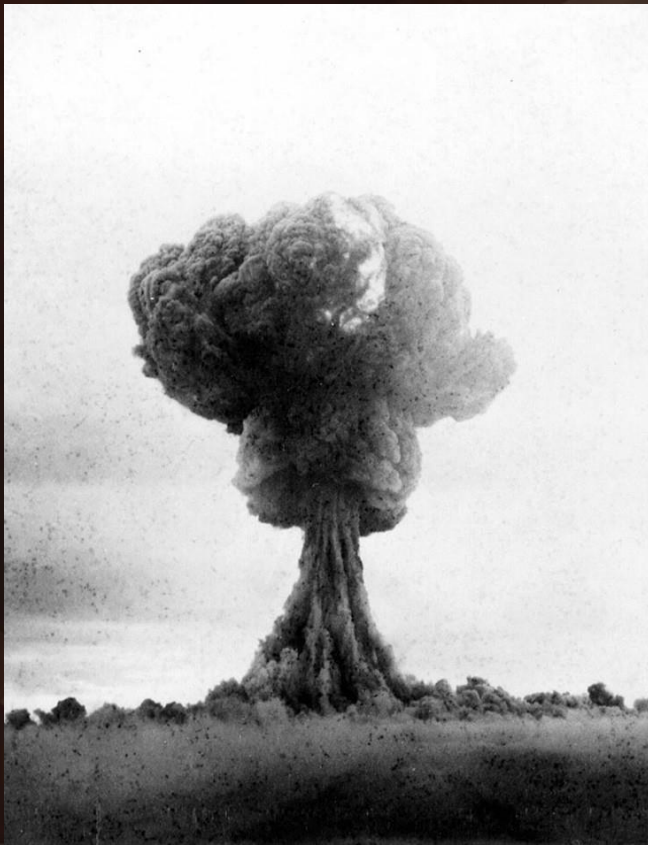


- Reaktor F-1



Produkcja plutonu w ZSRR

- 14 reaktorów ZSRR (A, AD, AI, ADE) do produkcji Pu-239 – reaktory na nisko-wzbogacony uran, z moderatorem grafitowym, chłodzone powietrzem (w późniejszych modelach – azotem)



Produkcja plutonu w ZSRR



■ Reaktor A (*Anuszka*)

Reaktor RBMK

- Reaktor RBMK (ros: reaktor kanałowy dużej mocy) opracowano w Związku Radzieckim w czasach 'zimnej wojny'
- Powstał przez dodanie obiegu wodnego do reaktora na nisko-wzbogacony uran z moderatorem grafitowym chłodzonym azotem, którego założeniem projektowym było wytwarzanie militarnego plutonu Pu-239
- 15 kwietnia 1966 – zatwierdzenie pierwszego projektu RBMK dla elektrowni jądrowej w Leningradzie

Klasyfikacja reaktorów jądrowych

neutrony termiczne

reaktory termiczne

moderator

lekka woda (LWR)

ciężka woda (HWR)

grafit

chłodziwo

lekka woda
2 obiegi
(PWR)

lekka woda
1 obieg
(BWR)

ciężka woda
(PHWR)

lekka woda
(HWLWR)

CO₂
(GCR)

hel
(GCR)

wzbogacenie uranu

słabo wzbogacony
(PWR)

słabo wzbogacony
(BWR)

naturalny
(CANDU)

bardzo słabo wzbogacony
(CANDU)

słabo wzbogacony
(SGHWR)

naturalny
(Magnox)

słabo wzbogacony
(AGR)

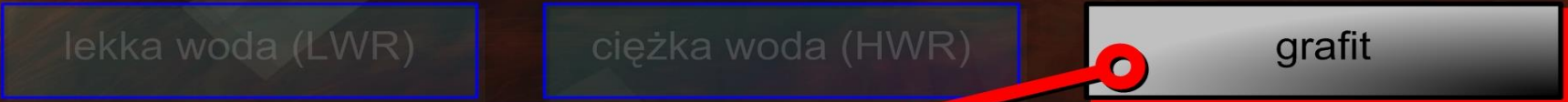
wysoko wzbogacony
(HTGR)

Klasyfikacja reaktorów jądrowych

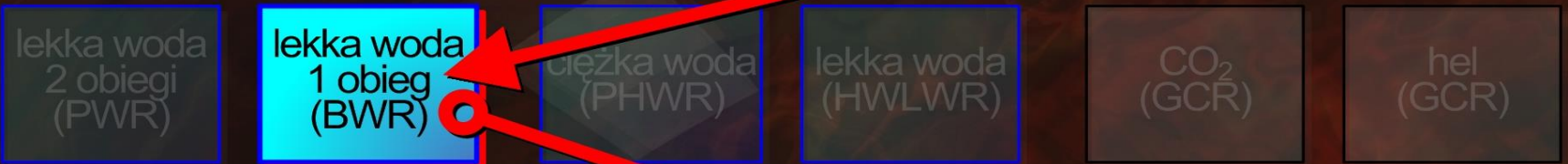
neutrony termiczne



moderator



chłodziwo



wzbogacenie uranu



Рис. 1. Разрез по главному корпусу АЭС с РБМК-1000, включая зону локализации Перечень основного оборудования главного корпуса АЭС

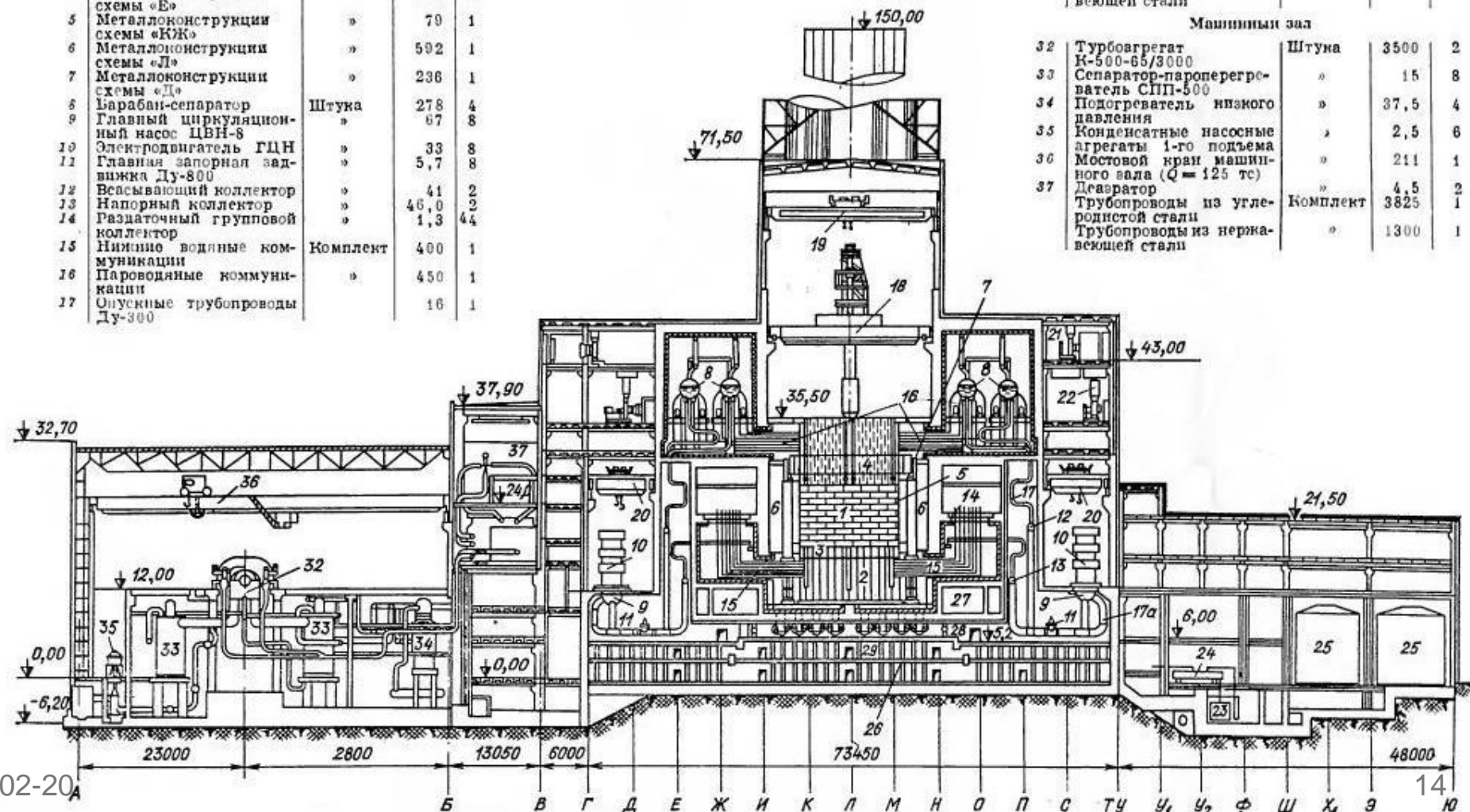
Реактор РВМК-1000

Номер позиции	Наименование	Единица измерения	Масса	Количество
Реакторное отделение				
1	Графитовая кладка	Комплект	1850	1
2	Металлоконструкции схемы «С»	»	126	1
3	Металлоконструкции схемы «ОР»	»	280	1
4	Металлоконструкции схемы «Е»	»	450	1
5	Металлоконструкции схемы «КЖ»	»	70	1
6	Металлоконструкции схемы «Л»	»	592	1
7	Металлоконструкции схемы «Д»	»	236	1
8	Барaban-сепаратор	Штука	278	4
9	Главный циркуляционный насос ЦВН-8	»	67	8
10	Электродвигатель ГЦН	»	33	8
11	Главная запорная задвижка Ду-800	»	5,7	8
12	Всасывающий коллектор	»	41	2
13	Напорный коллектор	»	46,0	2
14	Раздаточный групповой коллектор	»	1,3	44
15	Нижние водяные коммуникации	Комплект	400	1
16	Пароводяные коммуникации	»	450	1
17	Опускные трубопроводы Ду-300	»	16	1

17а	Трубопроводы контура МПЦ Ду-800	Комплект	350	1
18	Разгрузочно-загрузочная машина	»	450	1
19	Мостовой кран (тип ВДН на отметке +43,0)	Штука	121	1
20	Вытяжной вентилятор на отметке +35,0	»	176	2
21	Бак организованных протечек	»	3,5	30
22	Теплообменник организованных протечек	»	0,2	2

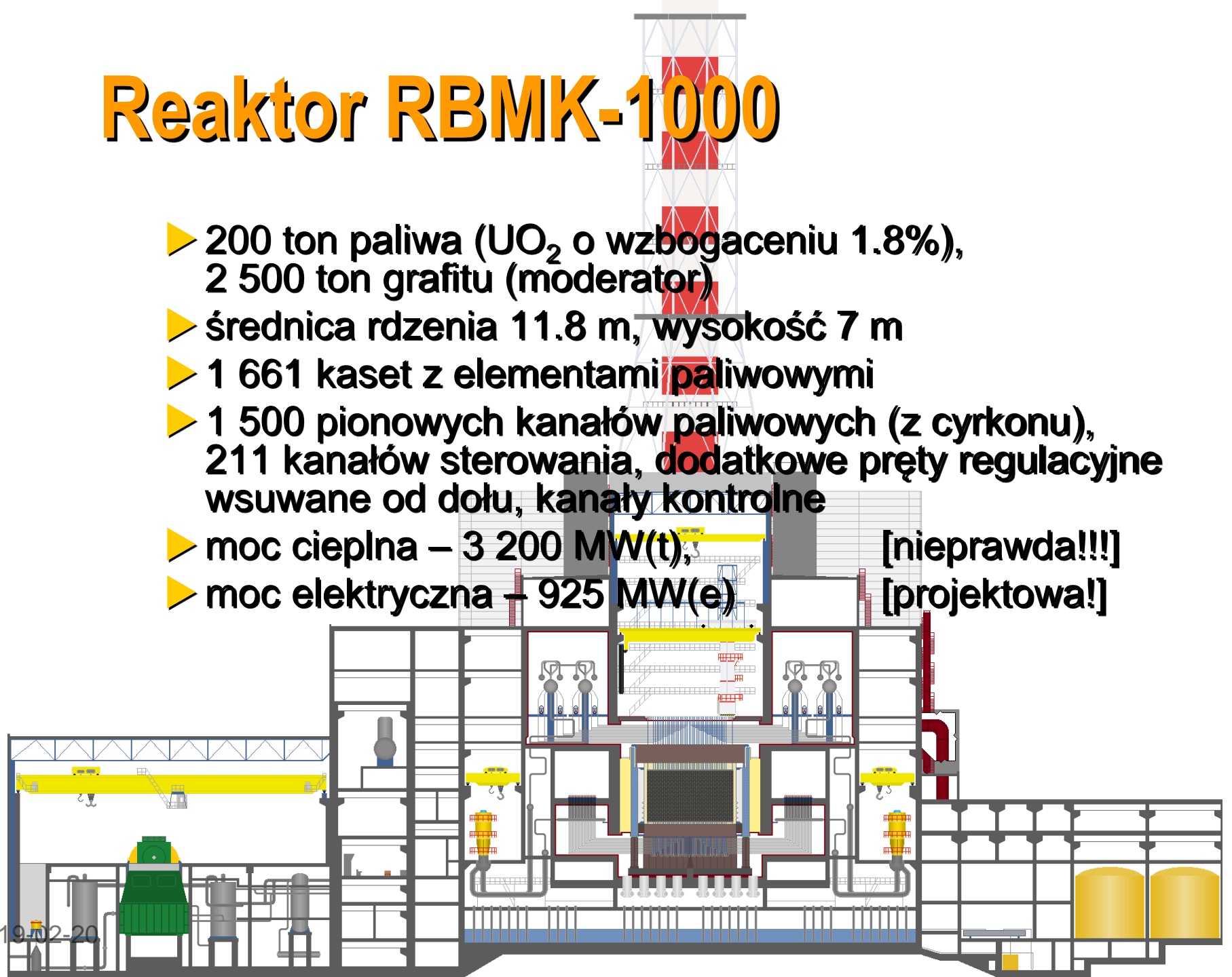
25	Баки плавово-предупредительных ремонтных работ	Штука	25	4
26	Металлоконструкции и трубопроводы зоны локализации аварий	Комплект	270	1
27	Обратные клапаны помещения нижних водяных коммуникаций	»	2,5	11
28	Перепускной клапан системы локализации аварий	Штука	2	8
29	Конденсаторы системы локализации аварий	»	3,7	36
30	Вагон-контейнер	»	146	1
31	Кран в помещении УПАК (Q = 30/5 тс)	»	45	1
	Трубопроводы из углеродистой стали	Комплект	1170	1
	Трубопроводы из нержавеющей стали	»	760	1

Машинный зал				
32	Турбоагрегат Н-500-65/3000	Штука	3500	2
33	Сепаратор-пароперегреватель СПП-500	»	15	8
34	Подогреватель низкого давления	»	37,5	4
35	Конденсатные насосные агрегаты 1-го подъема	»	2,5	6
36	Мостовой кран машинного зала (Q = 125 тс)	»	211	1
37	Дезаэратор	»	4,5	2
	Трубопроводы из углеродистой стали	Комплект	3825	1
	Трубопроводы из нержавеющей стали	»	1300	1

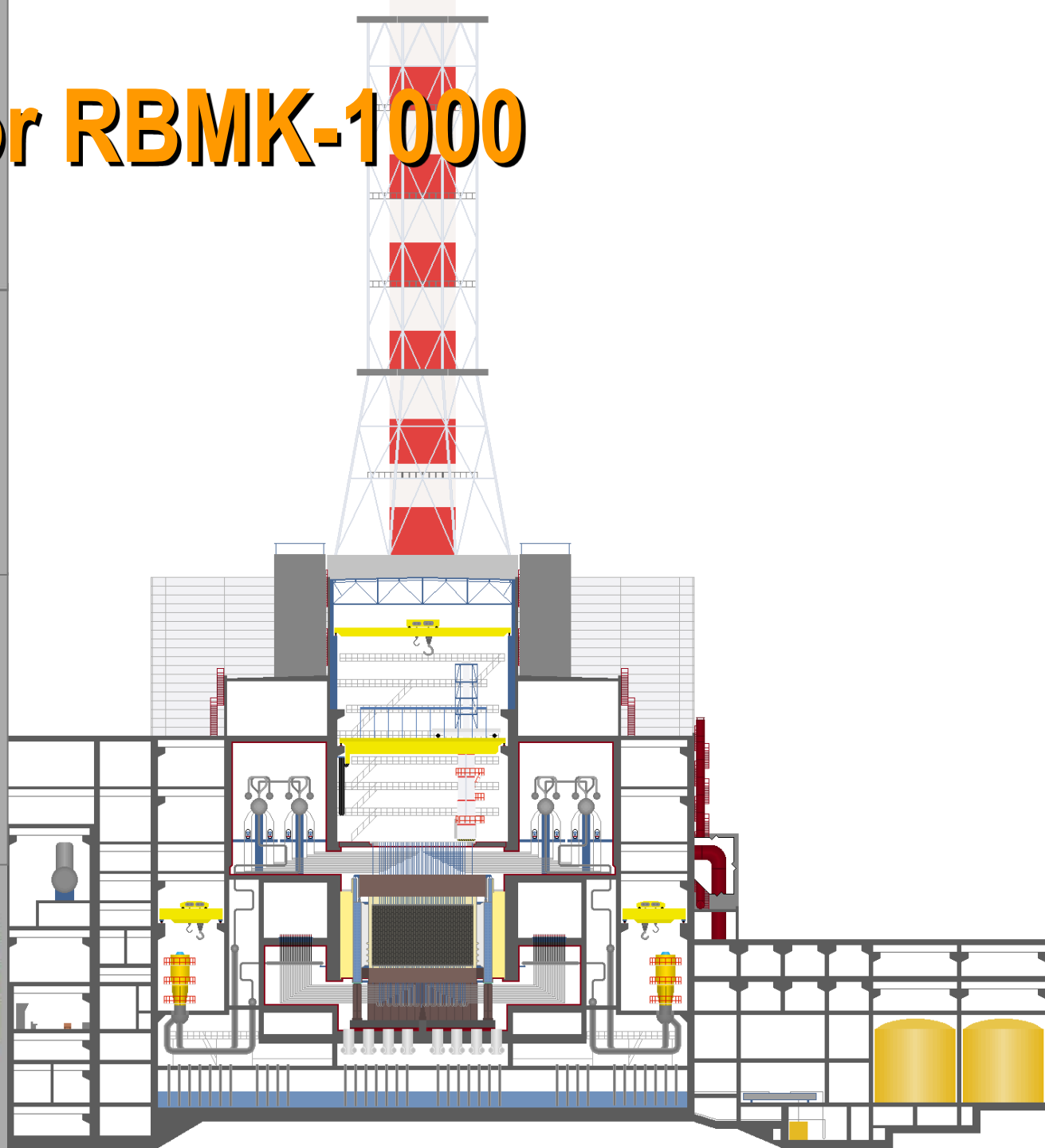
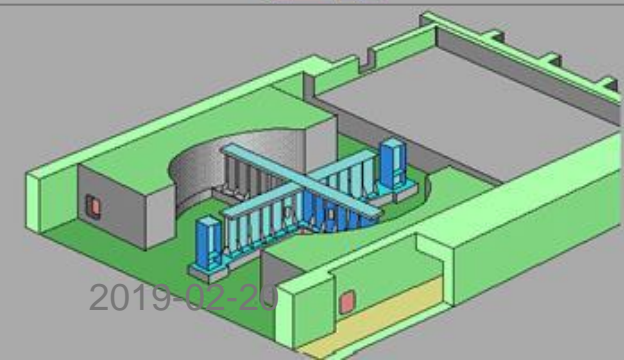
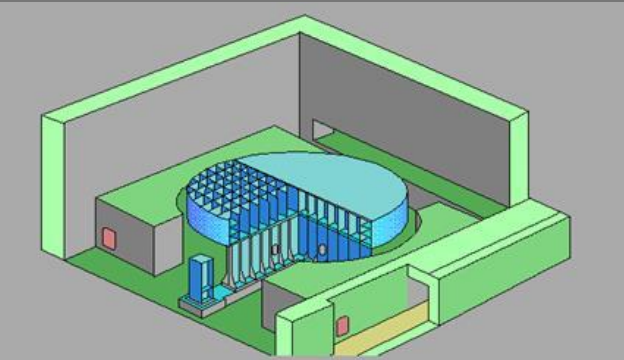
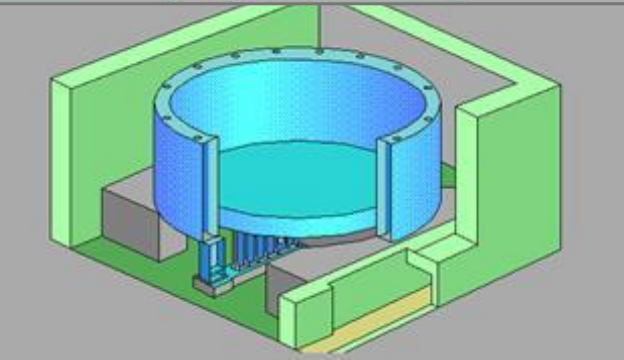
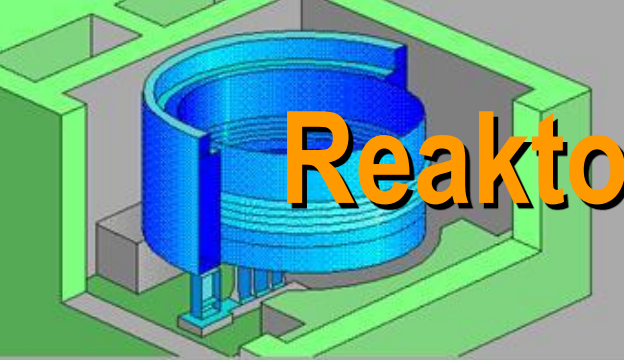


Reaktor RBMK-1000

- ▶ 200 ton paliwa (UO_2 o wzbogaceniu 1.8%), 2 500 ton grafitu (moderator)
- ▶ średnica rdzenia 11.8 m, wysokość 7 m
- ▶ 1 661 kaset z elementami paliwowymi
- ▶ 1 500 pionowych kanałów paliwowych (z cyrkonu), 211 kanałów sterowania, dodatkowe pręty regulacyjne wsuwane od dołu, kanały kontrolne
- ▶ moc cieplna – 3 200 MW(t), [nieprawda!!!]
- ▶ moc elektryczna – 925 MW(e) [projektowa!]



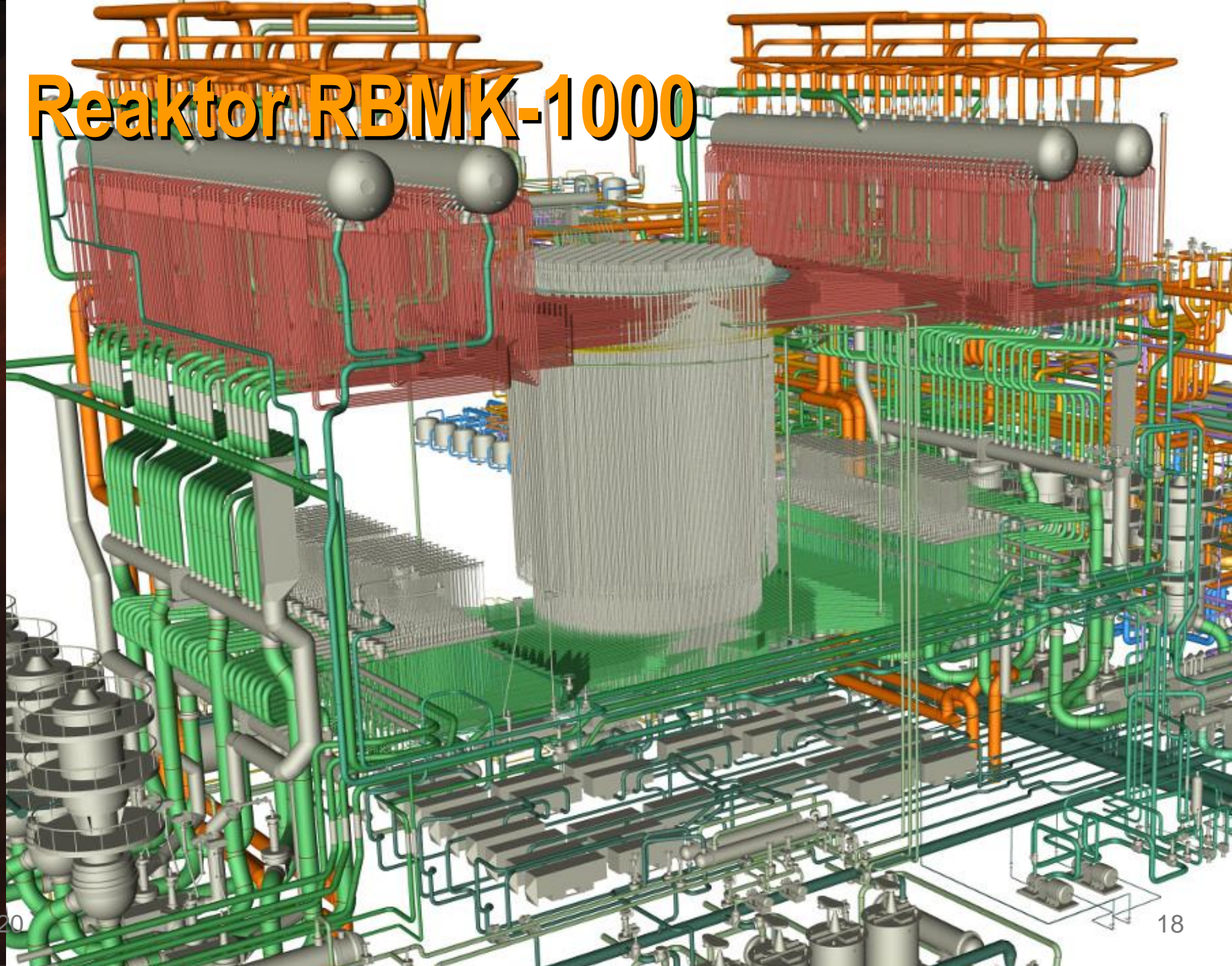
Reaktor RBMK-1000



Reaktor RBMK-1000



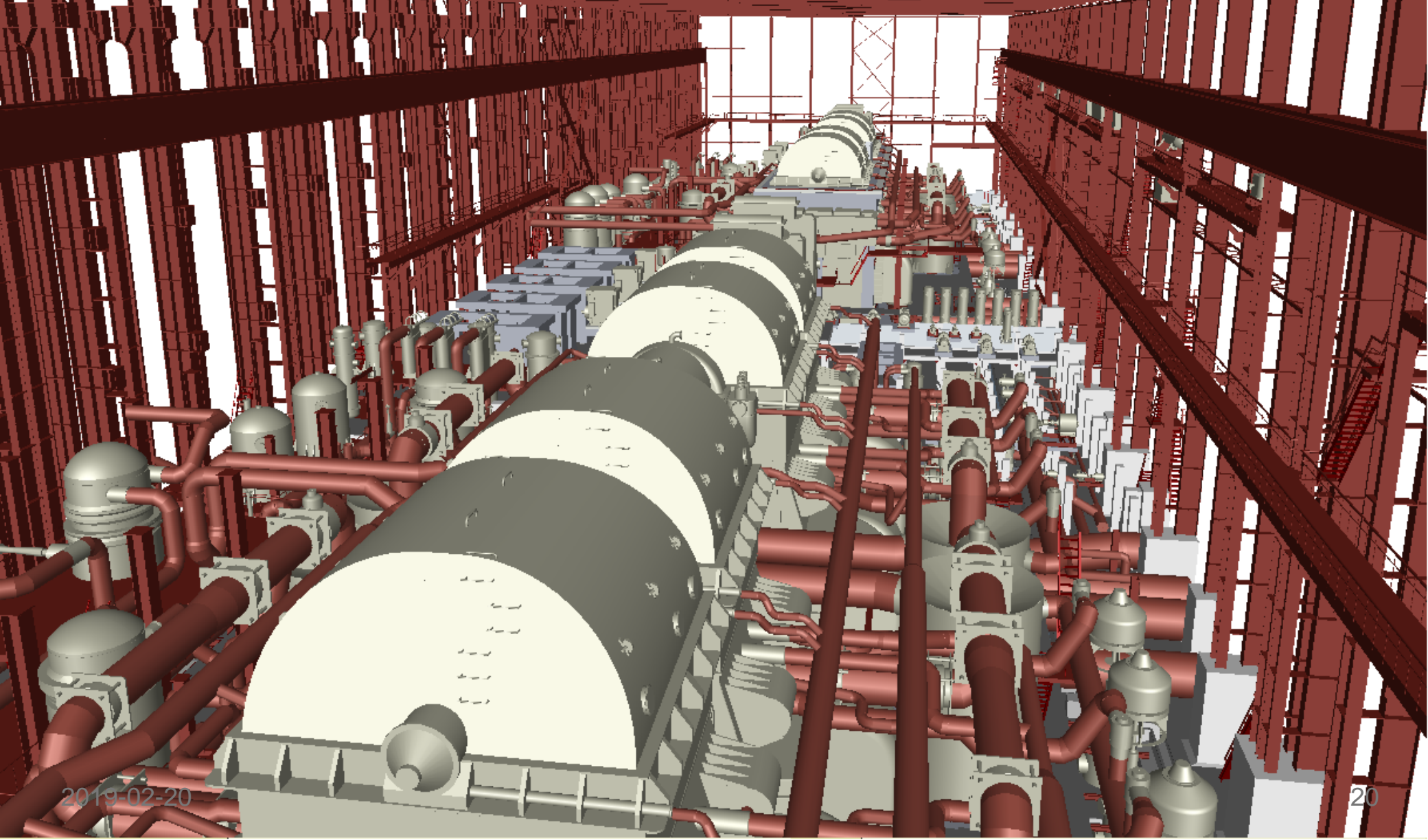
Reaktor RBMK-1000



Reaktor RBMK-1000



Reaktor RBMK-1000

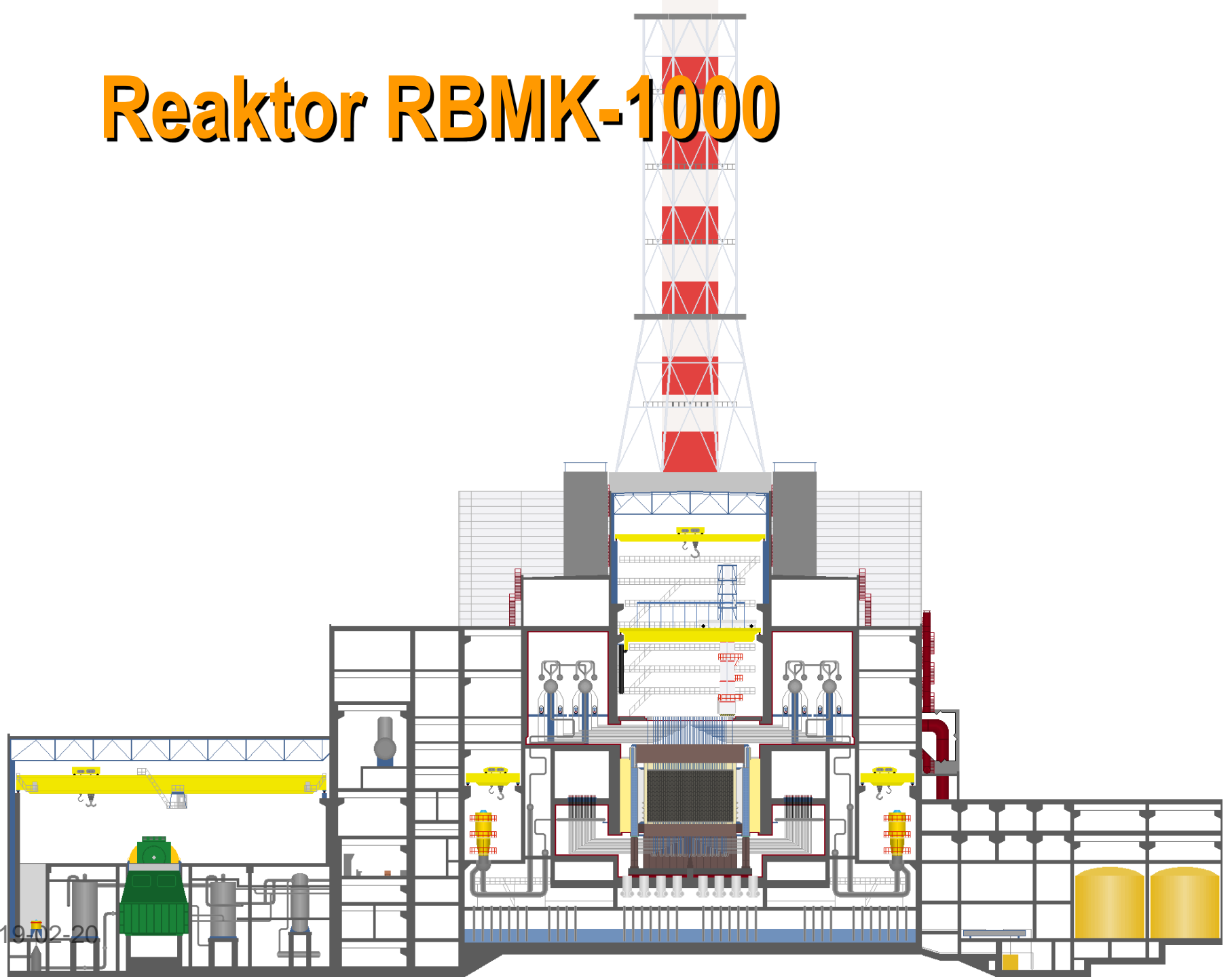


EJ Czarnobyl

Czarnobylska Elektrownia Atomowa im. W.I. Lenina –
początek budowy w 1970 roku

- Pierwsza generacja RBMK-1000
 - ▶ 1 blok – 740 MW(e) [nigdy nie osiągnął mocy znamionowej]
 - ▶ 2 blok – 800 MW(e)
- Druga generacja
 - ▶ 3 i 4 blok – 925 MW(e)
- Trzecia generacja
 - ▶ 5 i 6 blok – 950 MW(e)
- Czwarty etap rozbudowy elektrowni (RBMK-1500)
 - ▶ 7-10 blok – 1 185 MW(e), 1 380 MW(e)

Reaktor RBMK-1000



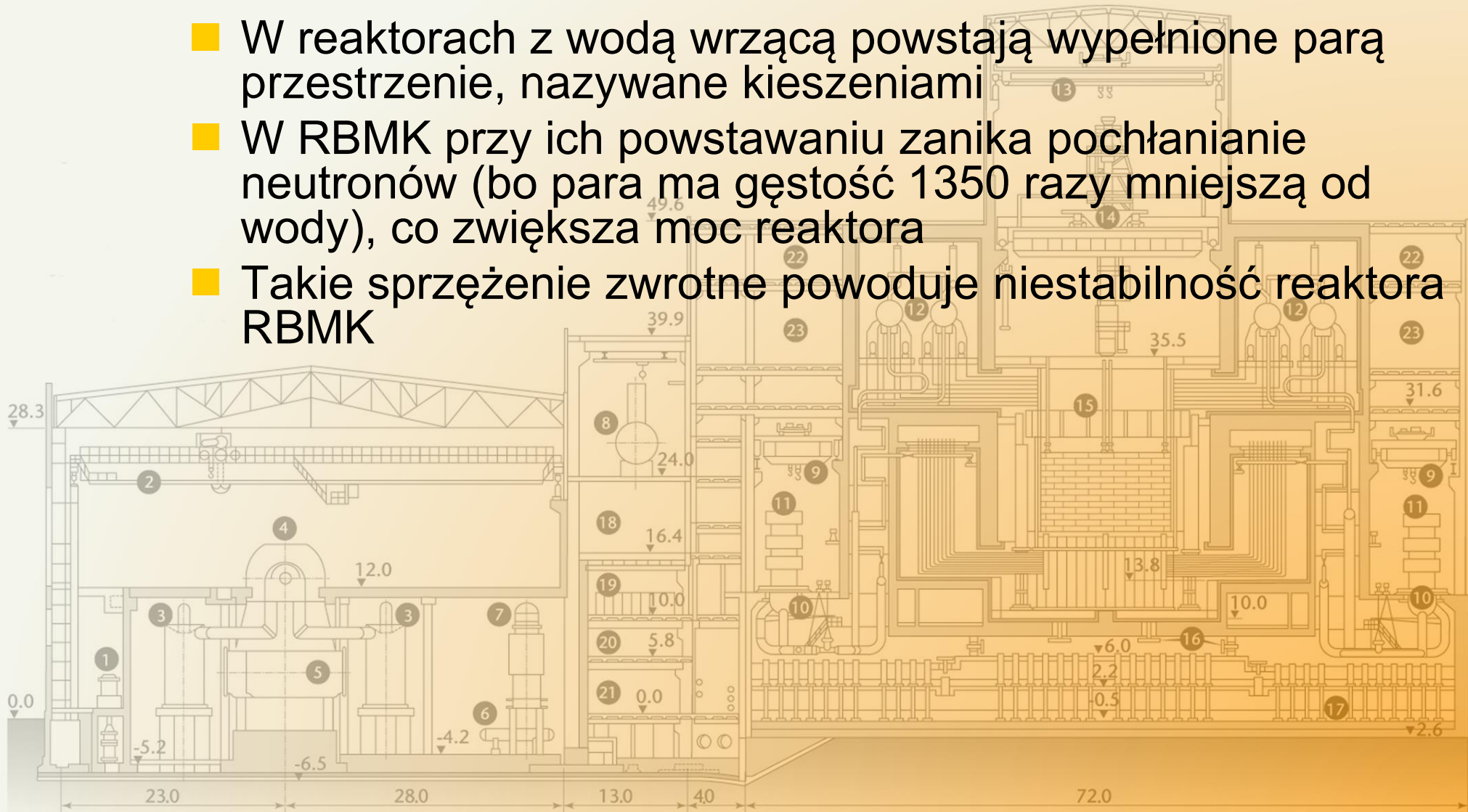
Reaktor RBMK-1000

- Płyta górna reaktora nr 3



Awaria EJ Czarnobyl

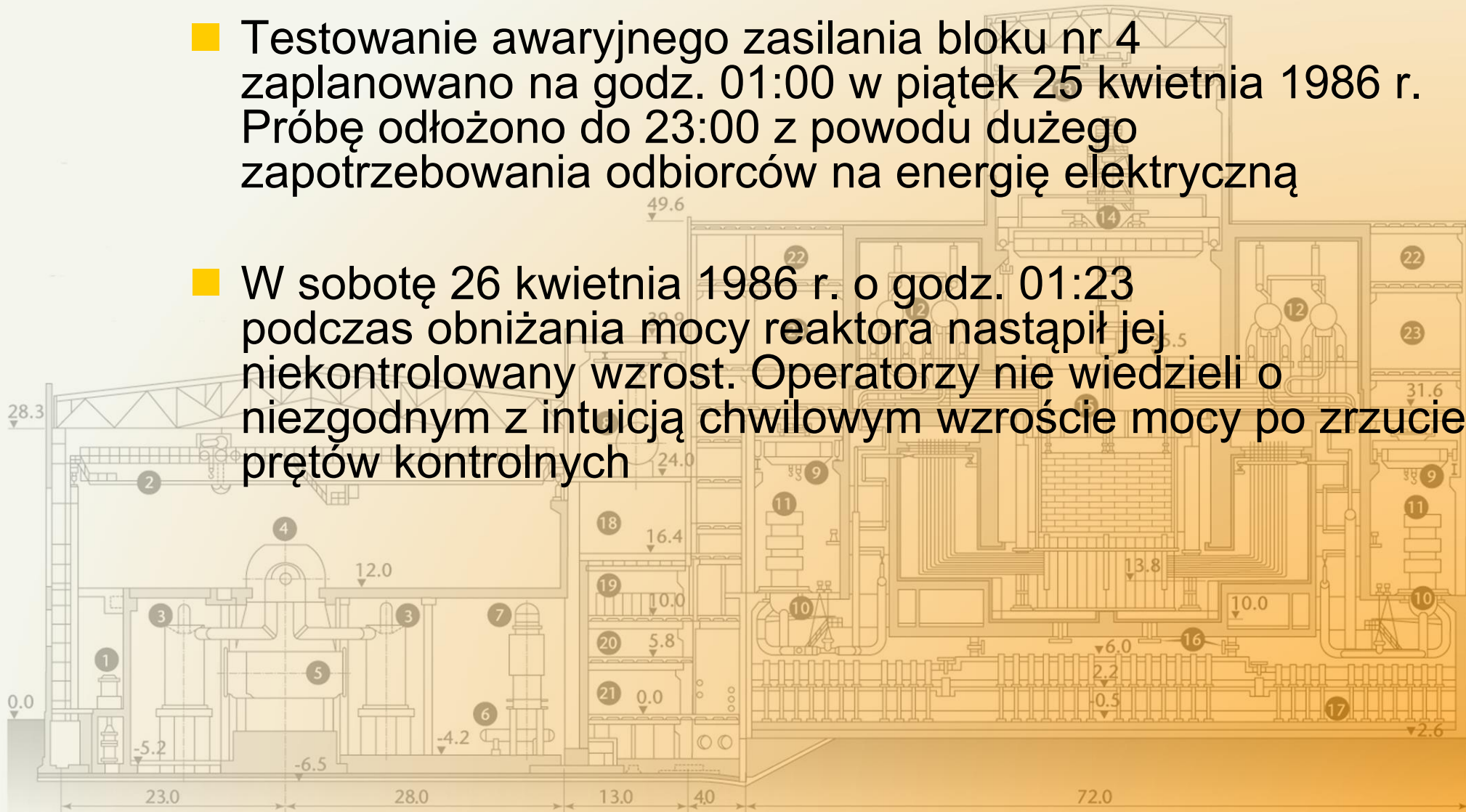
- W reaktorach z wodą wrzącą powstają wypełnione parą przestrzenie, nazywane kieszeniami
- W RBMK przy ich powstawaniu zanika pochłanianie neutronów (bo para ma gęstość 1350 razy mniejszą od wody), co zwiększa moc reaktora
- Takie sprzężenie zwrotne powoduje niestabilność reaktora RBMK



Awaria EJ Czarnobyl

- Testowanie awaryjnego zasilania bloku nr 4 zaplanowano na godz. 01:00 w piątek 25 kwietnia 1986 r. Próbę odłożono do 23:00 z powodu dużego zapotrzebowania odbiorców na energię elektryczną

- W sobotę 26 kwietnia 1986 r. o godz. 01:23 podczas obniżania mocy reaktora nastąpił jej niekontrolowany wzrost. Operatorzy nie wiedzieli o niezgodnym z intuicją chwilowym wzroście mocy po zrzucie prętów kontrolnych



Awaria EJ Czarnobyl

■ 26 kwietnia (sobota) 1986 roku

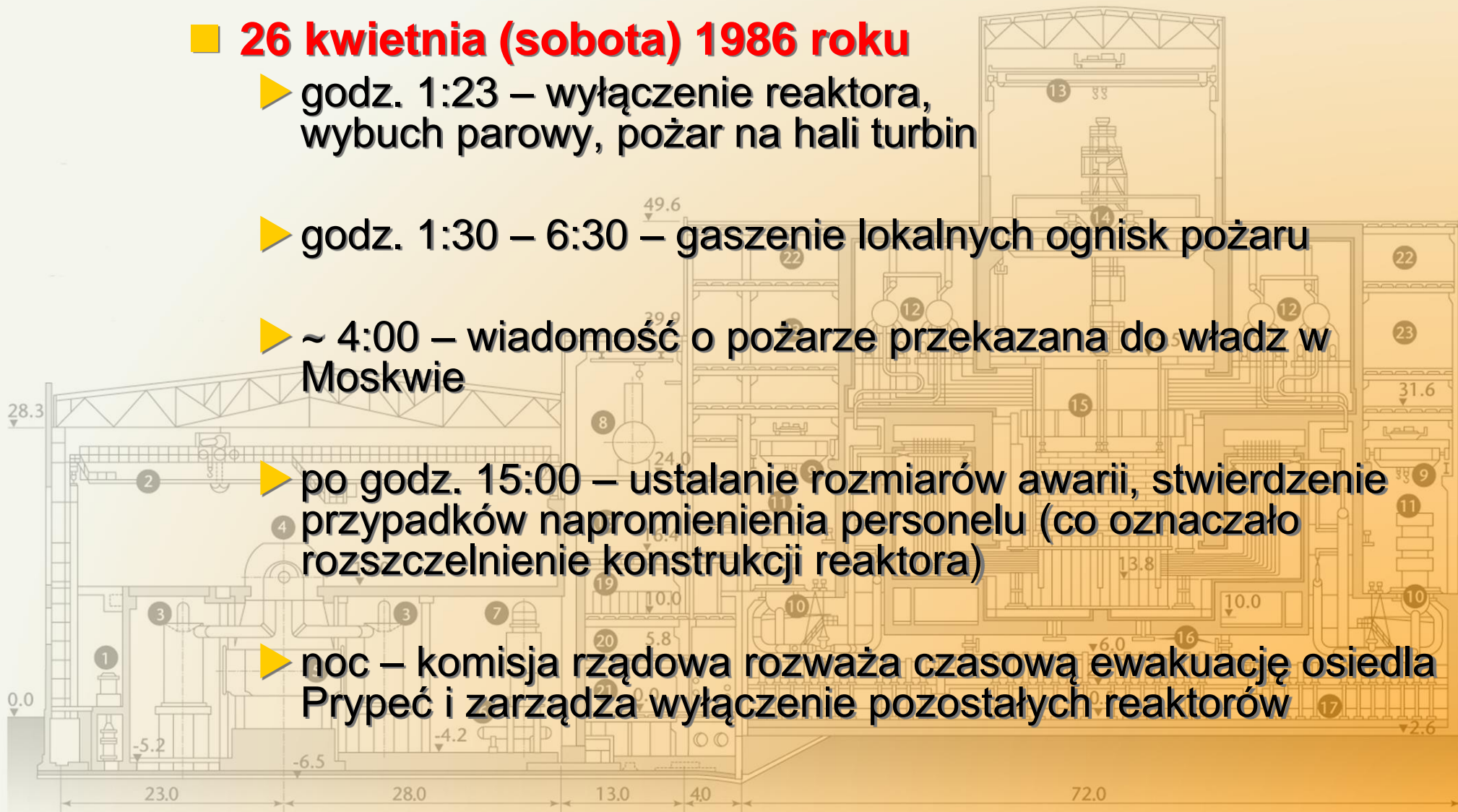
▶ godz. 1:23 – wyłączenie reaktora, wybuch parowy, pożar na hali turbin

▶ godz. 1:30 – 6:30 – gaszenie lokalnych ognisk pożaru

▶ ~ 4:00 – wiadomość o pożarze przekazana do władz w Moskwie

▶ po godz. 15:00 – ustalanie rozmiarów awarii, stwierdzenie przypadków napromienienia personelu (co oznaczało rozszczelnienie konstrukcji reaktora)

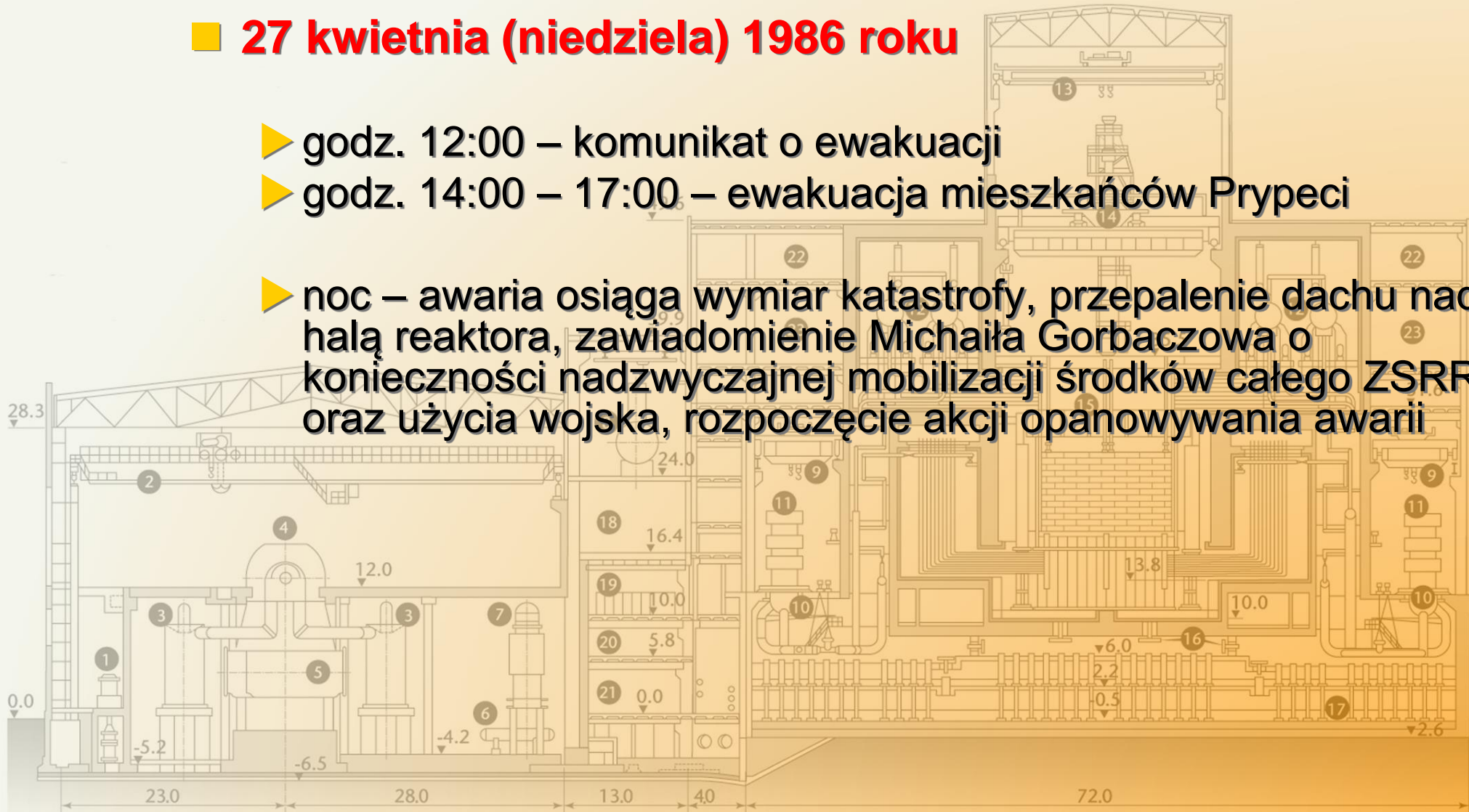
▶ noc – komisja rządowa rozważa czasową ewakuację osiedla Prypeć i zarządza wyłączenie pozostałych reaktorów



Awaria EJ Czarnobyl

■ 27 kwietnia (niedziela) 1986 roku

- ▶ godz. 12:00 – komunikat o ewakuacji
- ▶ godz. 14:00 – 17:00 – ewakuacja mieszkańców Prypeci
- ▶ noc – awaria osiąga wymiar katastrofy, przepalenie dachu nad halą reaktora, zawiadomienie Michaiła Gorbaczowa o konieczności nadzwyczajnej mobilizacji środków całego ZSRR oraz użycia wojska, rozpoczęcie akcji opanowywania awarii



Awaria EJ Czarnobyl

■ 28 kwietnia (poniedziałek) 1986 roku

- ▶ rano – sygnały o wzroście promieniowania (Szwecja, Polska)
- ▶ późne popołudnie – o awarii informują zachodnie media
- ▶ 20:00 – moskiewskie radio napomina o awarii

■ 29 kwietnia (wtorek) 1986 roku

- ▶ godz. 3:00 – 6:00 – posiedzenie partyjno-rządowej komisji w Warszawie
- ▶ po południu – akcja podawania płynu Lugola w Polsce, w Moskwie powołanie rządowej grupy operacyjnej
- ▶ 20:00 – radziecka telewizja wspomina o awarii w szóstej wiadomości dziennika



Awaria EJ Czarnobyl

■ 28 kwietnia – 5 maja 1986 roku

- ▶ opanowywanie awarii, z użyciem sił i środków udostępnianych w trybie nadzwyczajnym na szczęblu rządowym, zrzucone ze śmigłowców wojskowych około 5 000 ton materiałów:

węglika boru B_4C

dolomitu ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$)

gliny, piasku

ołowiu Pb

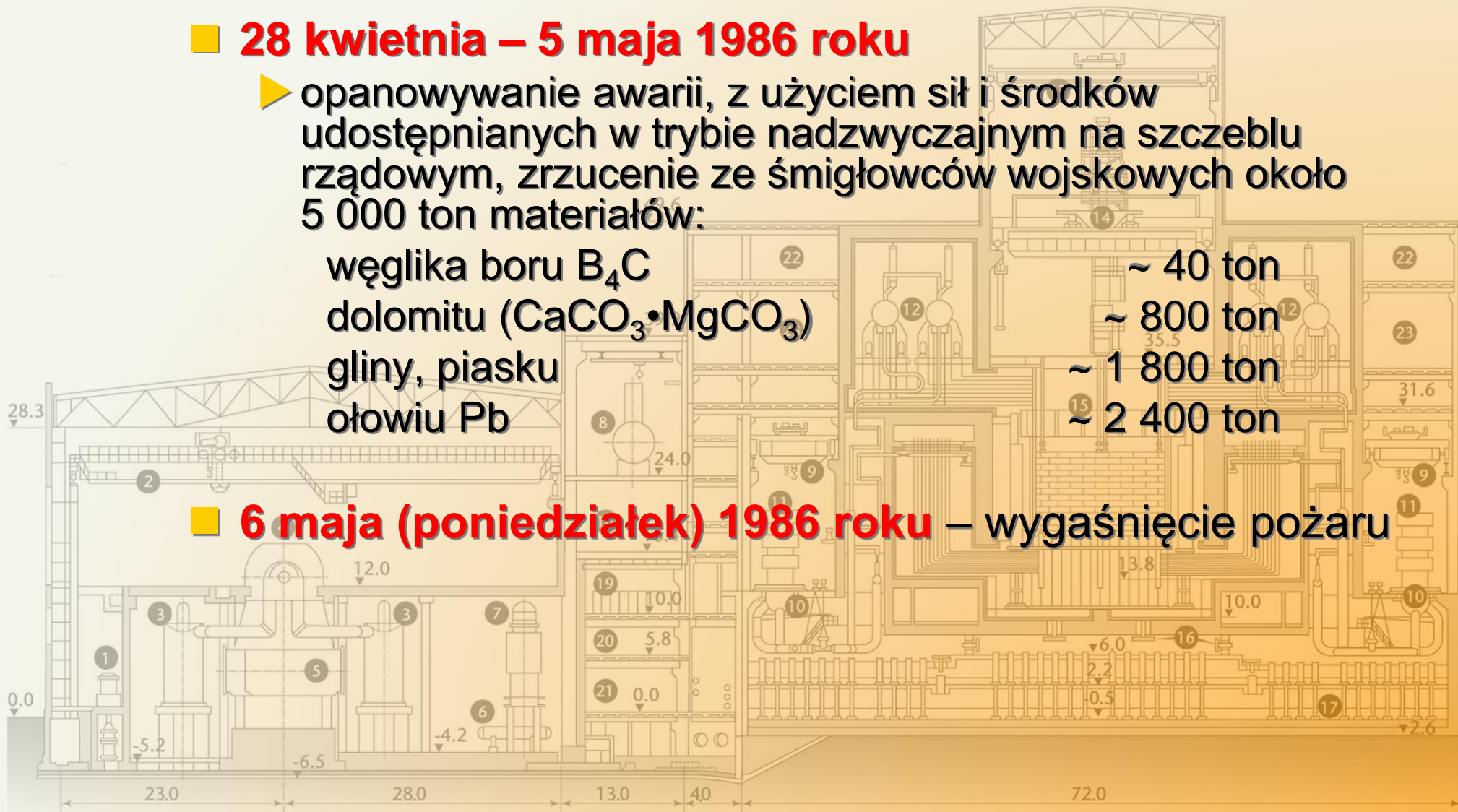
~ 40 ton

~ 800 ton

~ 1 800 ton

~ 2 400 ton

■ 6 maja (poniedziałek) 1986 roku – wygaśnięcie pożaru



Awaria EJ Czarnobyl

■ do 18 czerwca 1986 roku

▶ zrzucone ze śmigłowców wojskowych około 11 000 ton materiałów:

dolomitu ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)

~ 400 ton

żwiru

~ 1 700 ton

ołowiu Pb

~ 4 300 ton

▶ rozpylenie wokół reaktora:

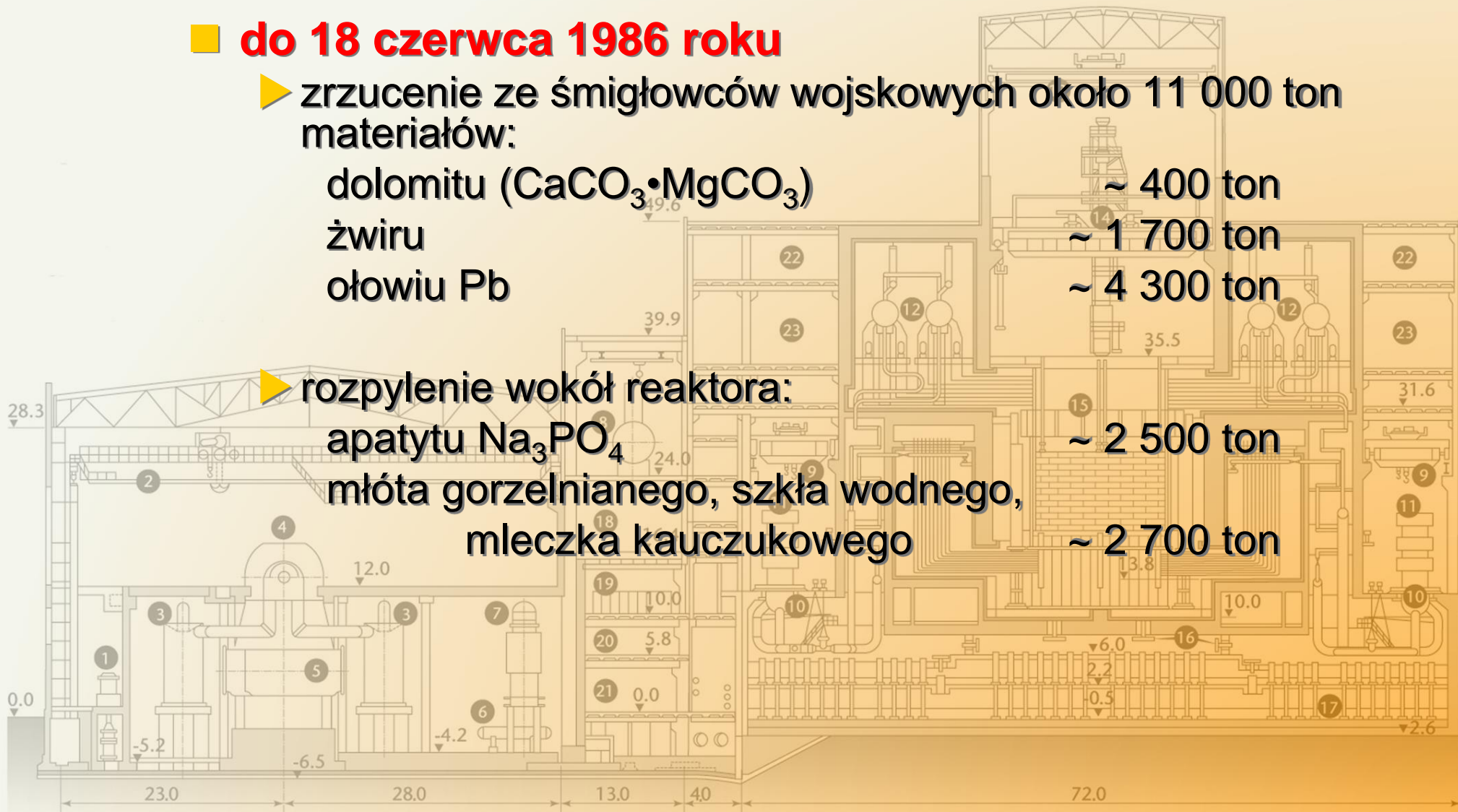
apatytu Na_3PO_4

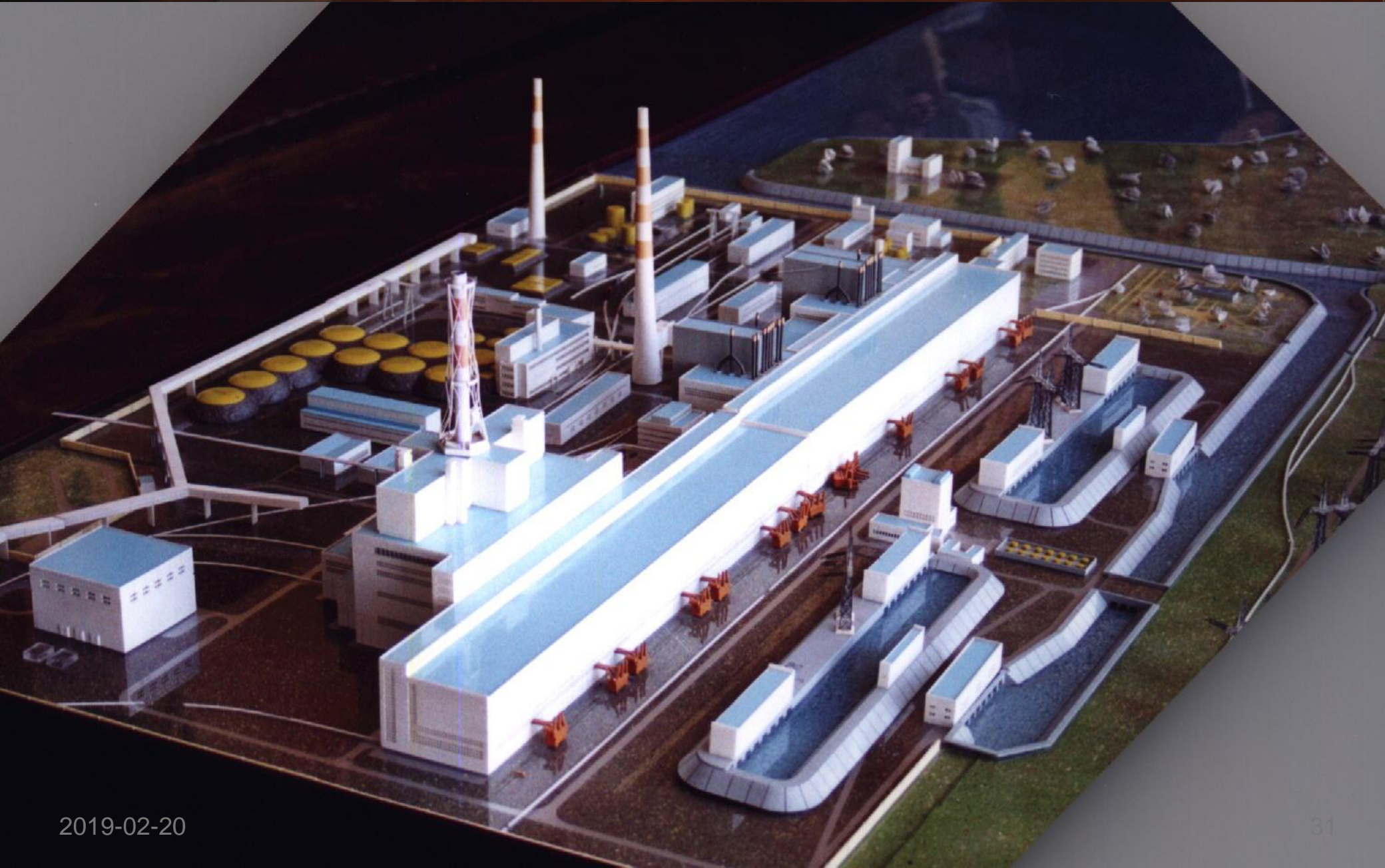
~ 2 500 ton

młóta gorzelnianego, szkła wodnego,

mleczka kauczukowego

~ 2 700 ton





Relacje świadków

- 176 osób – pracowników nocnej zmiany elektrowni
- ~250 pracowników budowlanych bloku nr 5 (3 km od CzAES)
- Blok nr 2 – włączany do eksploatacji (turbiny synchronizowane z siecią energetyczną)
- Blok nr 4 – badanie zdolności zasilania pomp po nagłym wyłączeniu reaktora; diagnostyka nieprawidłowo zamontowanych łożysk turbin

Relacje świadków

- Operator monitoringu promieniowania w kanałach reaktora
- Pracownicy pobierający farbę do przemalowania oznaczeń na pompach obiegowych
- Operatorzy reaktora nr 3
- Ekipa oczyszczająca przejazd do turbin 4 reaktora
- Pracownicy hali turbin bloku nr 2

- Strażak przed remizą
- Ochrona bramy wjazdowej koło 4 reaktora

Relacje świadków

■ Siergiej Akulinin

2019-02-20

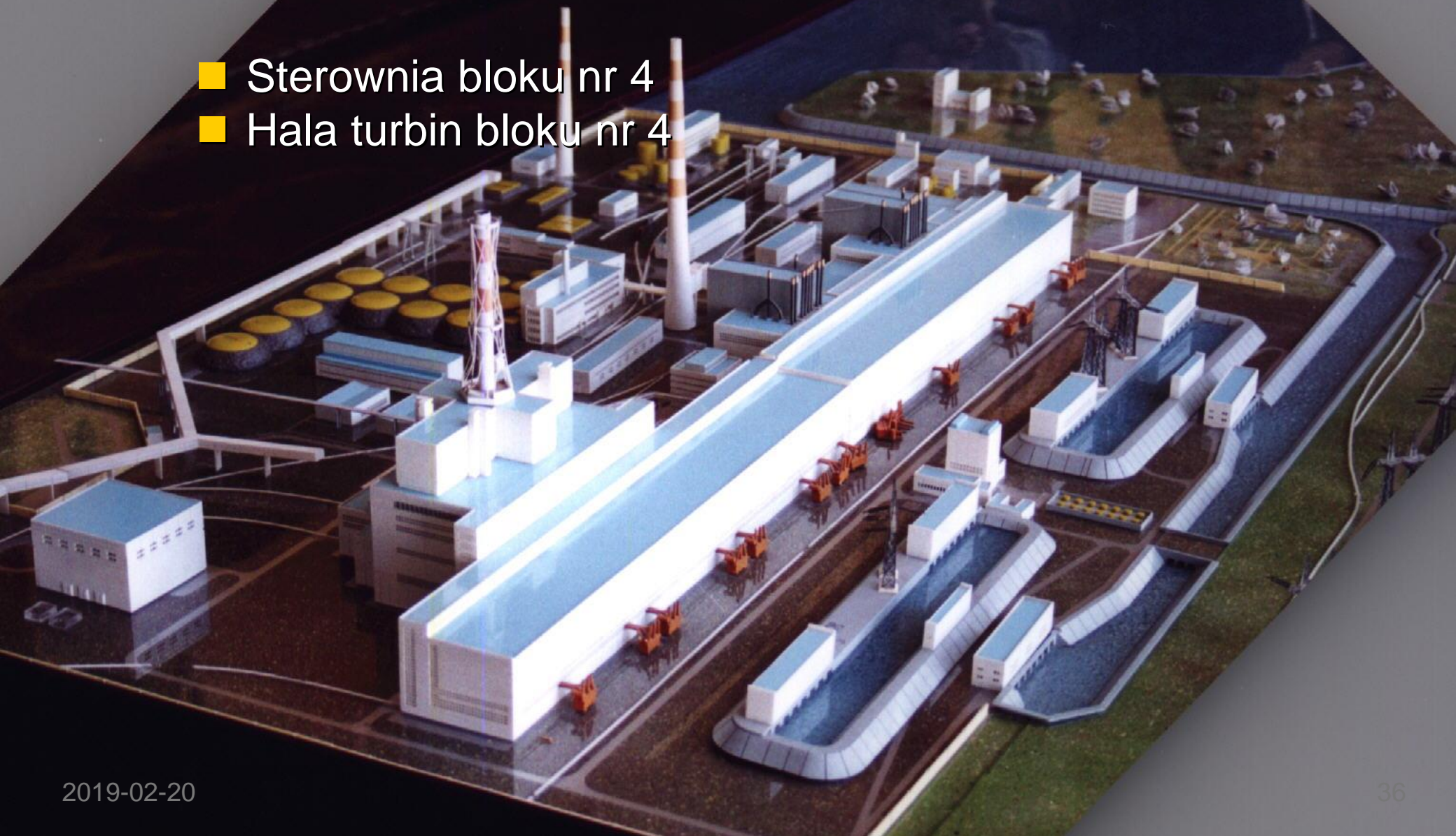


Relacje świadków



Relacje świadków

- Sterownia bloku nr 4
- Hala turbin bloku nr 4



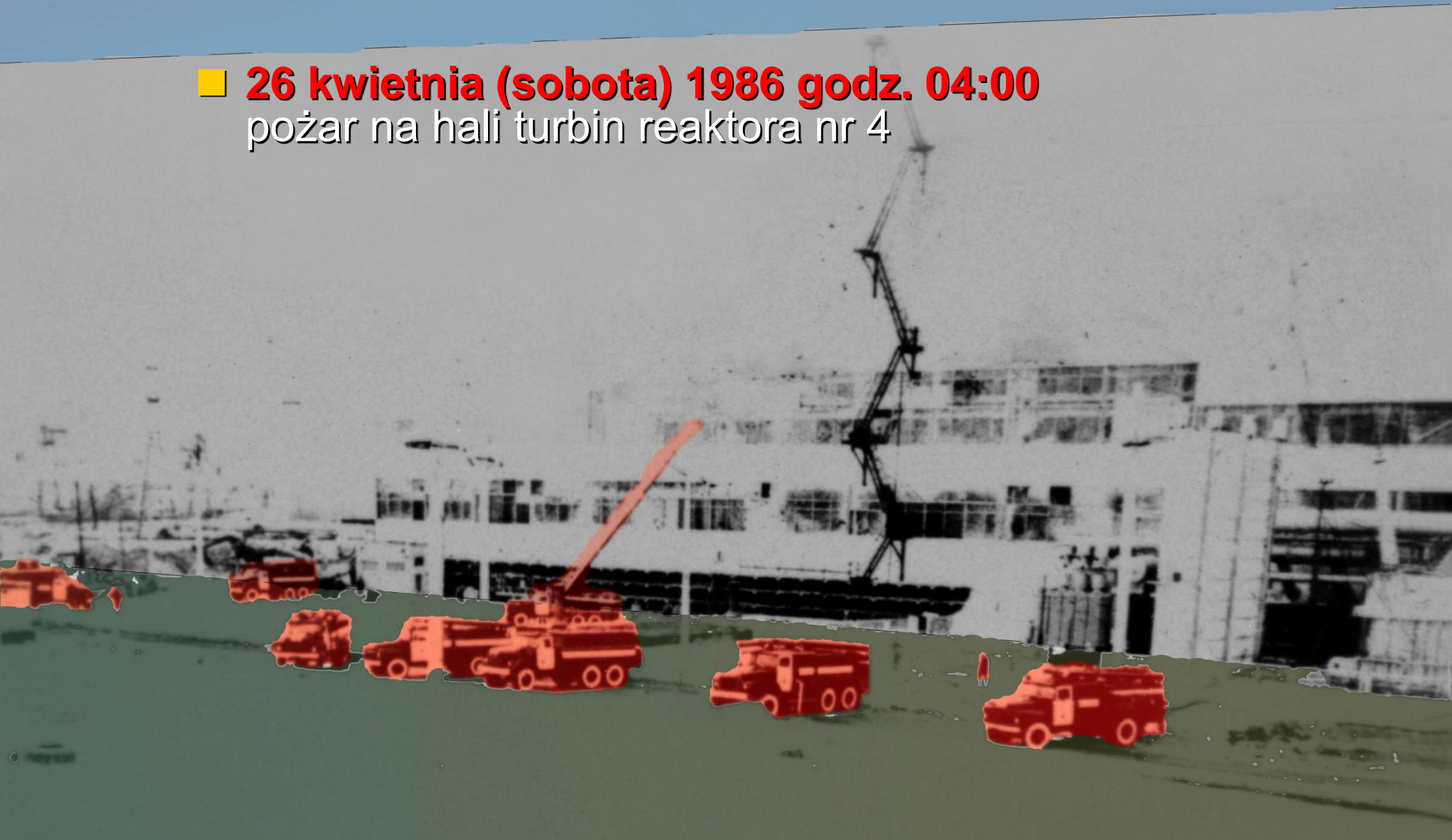
Awaria EJ Czarnobyl

- **26 kwietnia (sobota) 1986 godz. 04:00**
pożar na hali turbin reaktora nr 4



Awaria EJ Czarnobyl

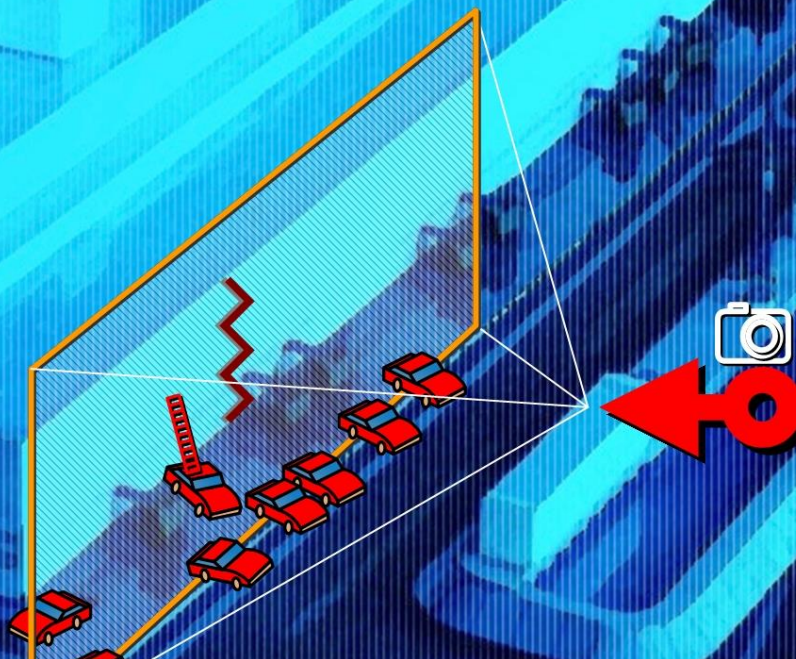
- **26 kwietnia (sobota) 1986 godz. 04:00**
pożar na hali turbin reaktora nr 4



Awaria EJ Czarnobyl



- **26 kwietnia (sobota) 1986 godz. 04:00**
pożar na hali turbin reaktora nr 4





■ Славутycz

Relacje świadków

- Aleksiej Moskalenko (zastępca komendanta milicji w Prypeci)

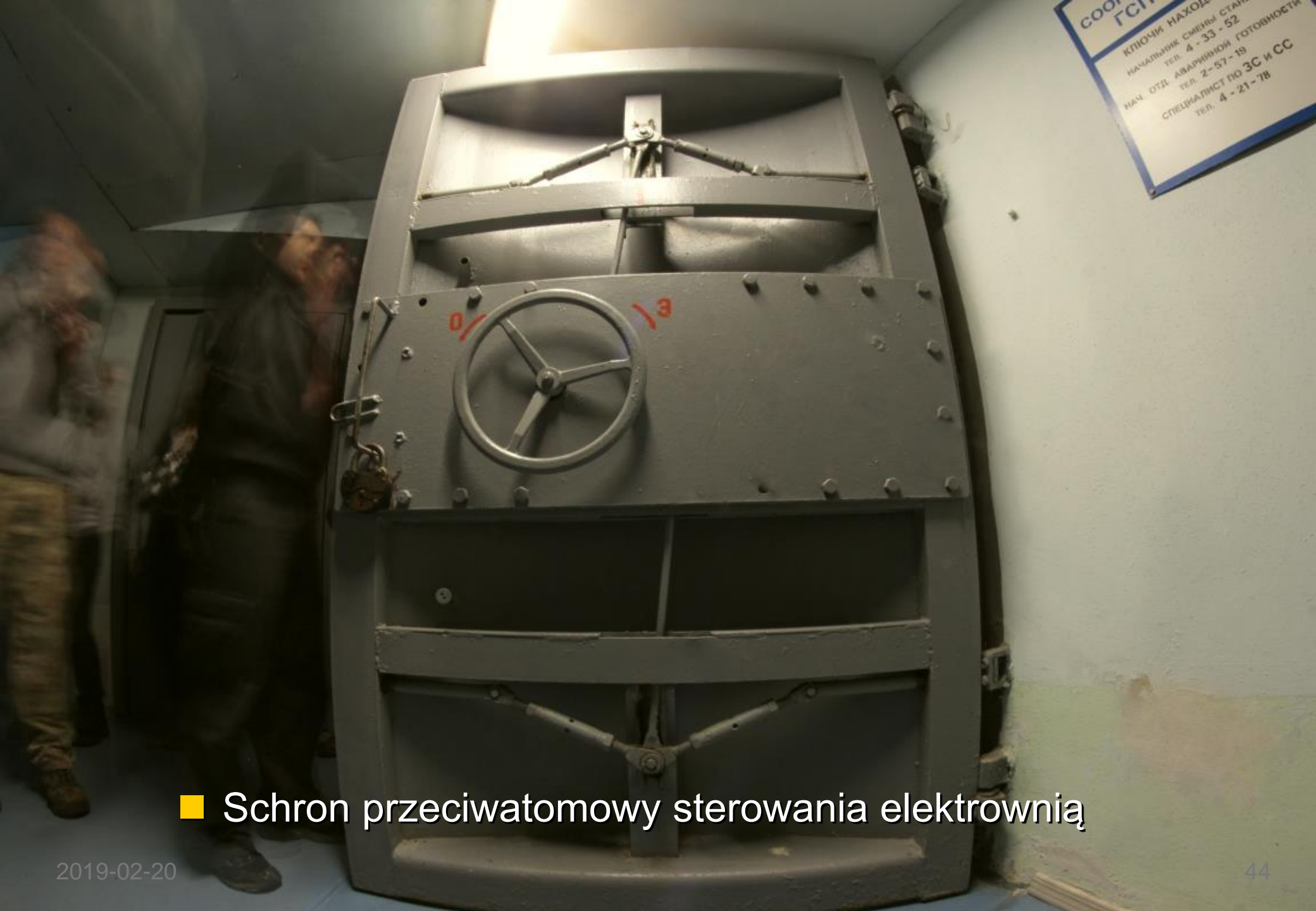
Relacje świadków



Relacje świadków (likwidatorzy)

- Pracownicy elektrowni
 - ▶ Wasilij Markin
 - ▶ Mikołaj Sołowiew

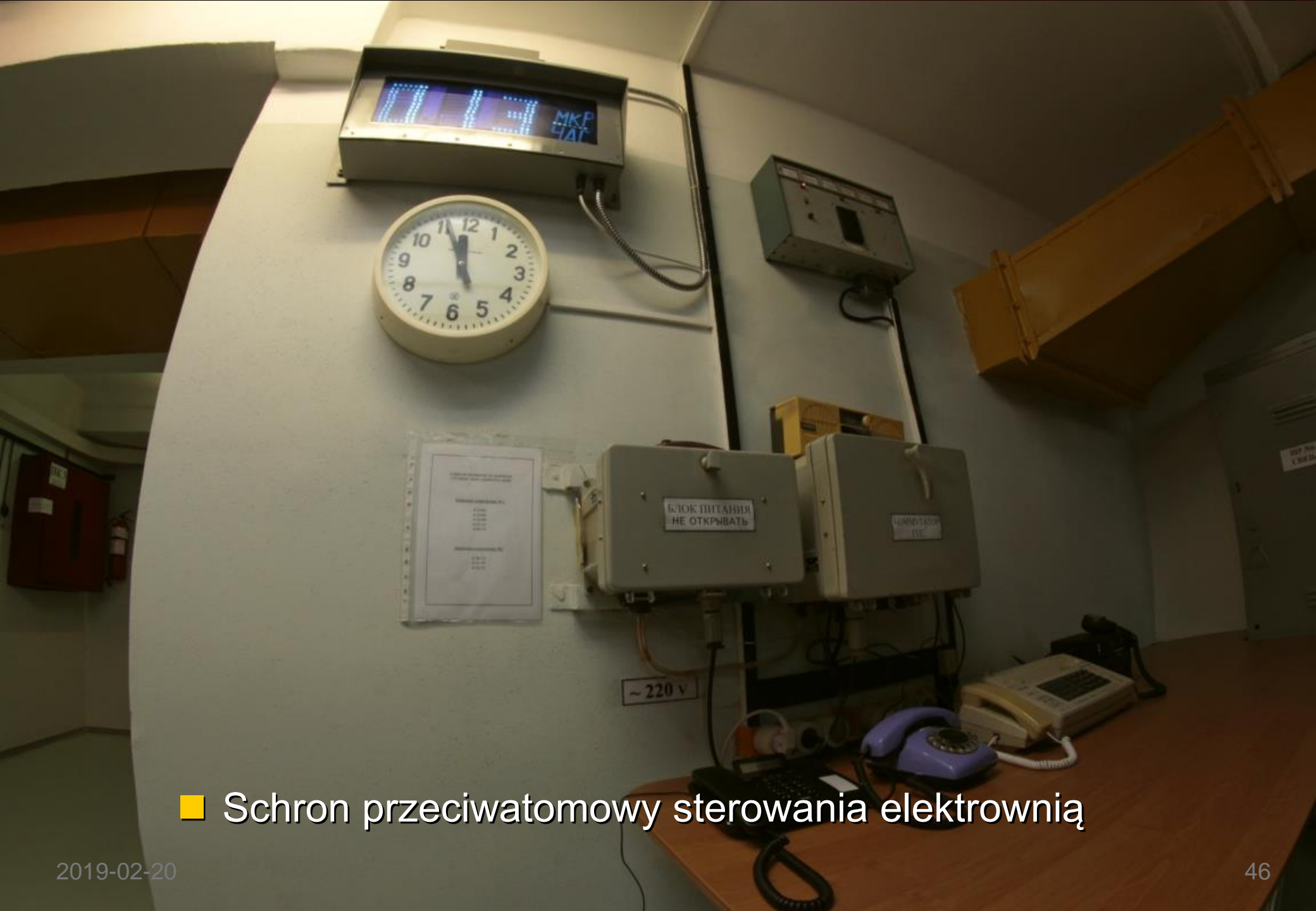




■ Schron przeciwatomowy sterowania elektrownią



■ Schron przeciwiatomowy sterowania elektrownią



■ Schron przeciwatomowy sterowania elektrownią

Relacje świadków (26 kwietnia 86)

- Aleksiej Moskalenko
- Pracownicy I zmiany elektrowni
- Swietłana Aleksiejenko (ur. 26 kwietnia 1986, 11:45)
- Mieszkańcy Prypeci



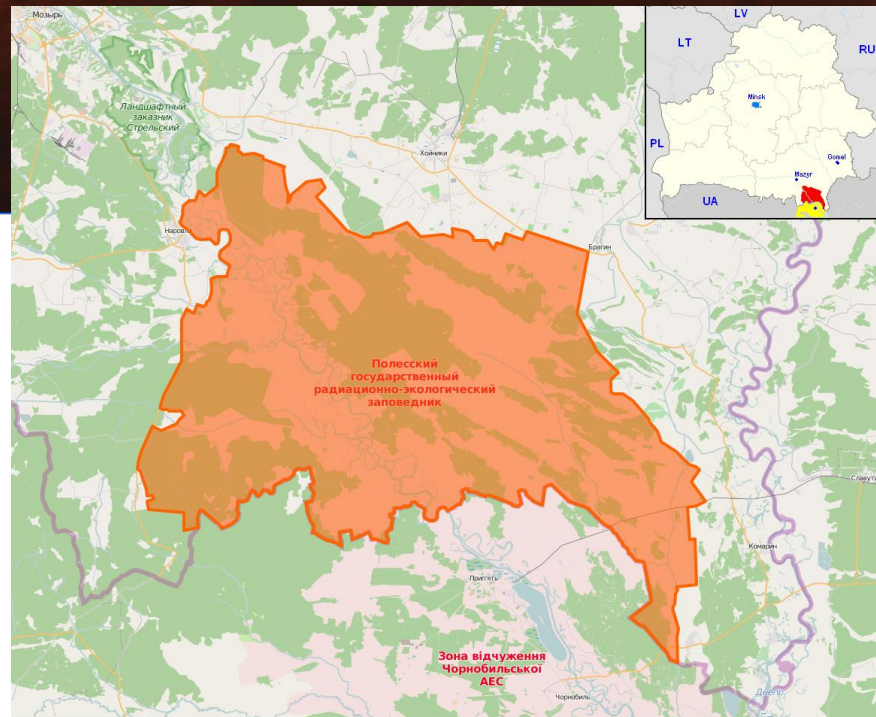
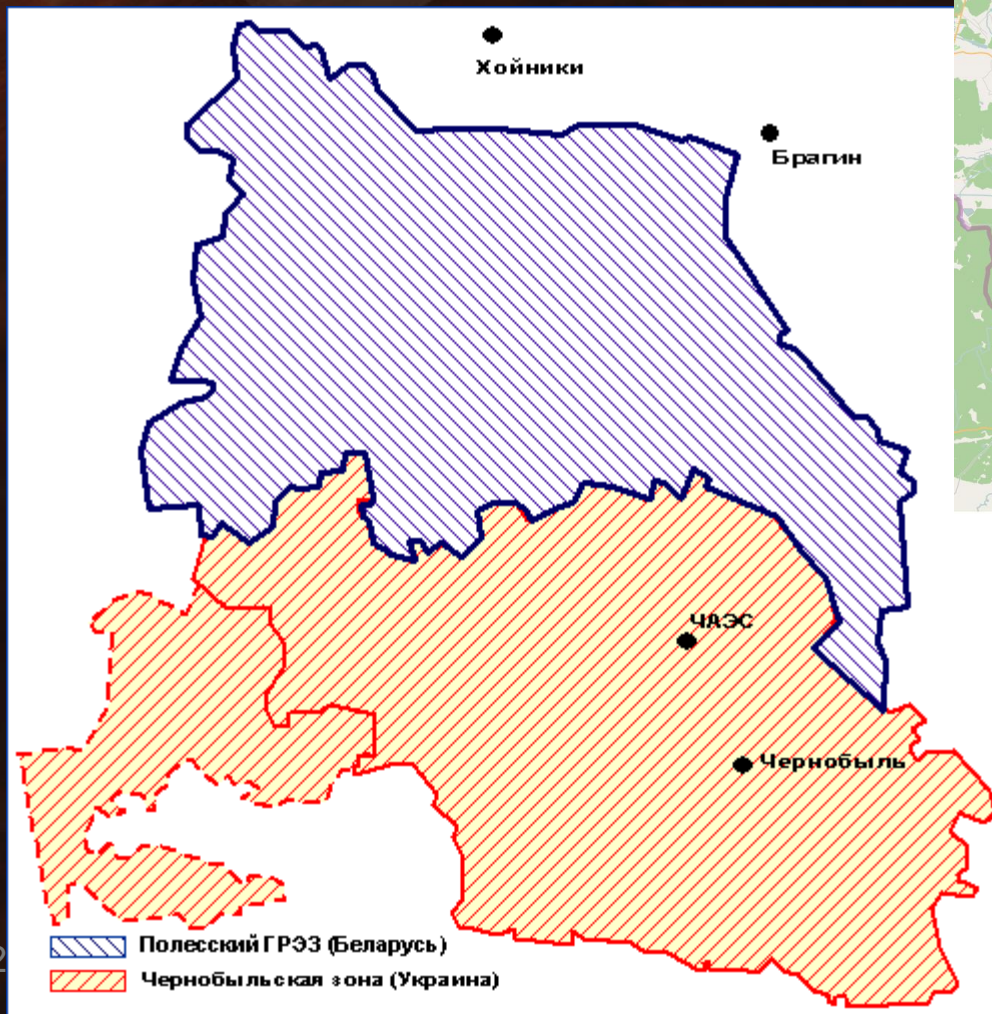


■ Widok ze szpitala w Prypeci

Relacje świadków

- Przygotowanie ewakuacji
- Relacja szefa obrony cywilnej Prypeci
- Koncentracja autobusów koło Czarnobyla

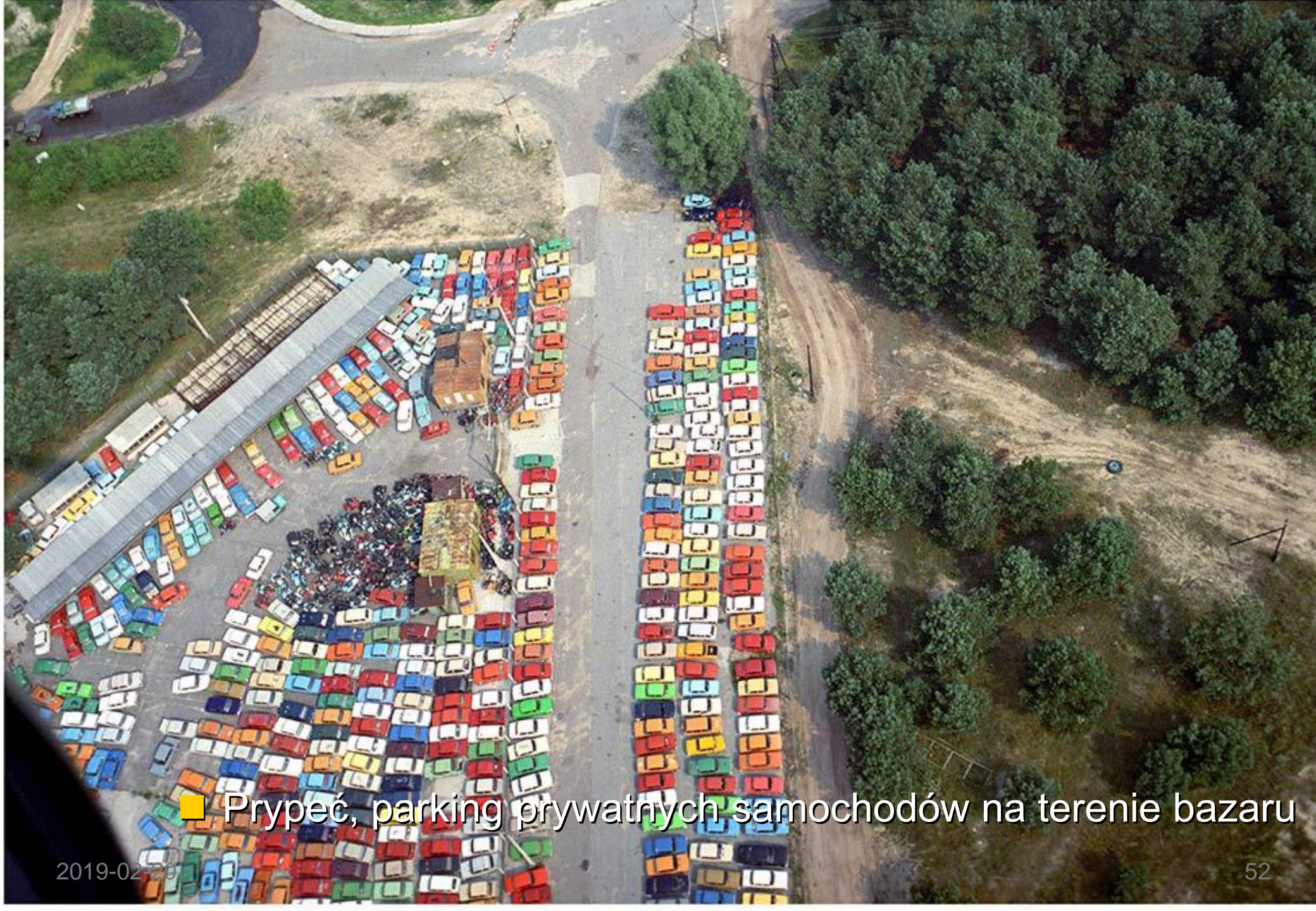
Strefa Wysiedlenia



Relacje świadków

- Ewakuacja ludności miejskiej, odwiedziny opuszczonych mieszkań
- Kolonie dla dzieci
- Przydziały nowych kwater, rekompensaty za utracone mienie, samochody





■ Prypeć, parking prywatnych samochodów na terenie bazaru



■ Prypeć, parking samochodów

Relacje świadków

- Ewakuacja ludności wiejskiej, bydła i trzody (~60 tysięcy), wałęsające się zwierzęta gospodarskie (~20 tysięcy)
- Życie na przydzielonych kwaterach
- Powroty do Strefy

Iwan i Maria Siemieniuk (wieś Paryszew)







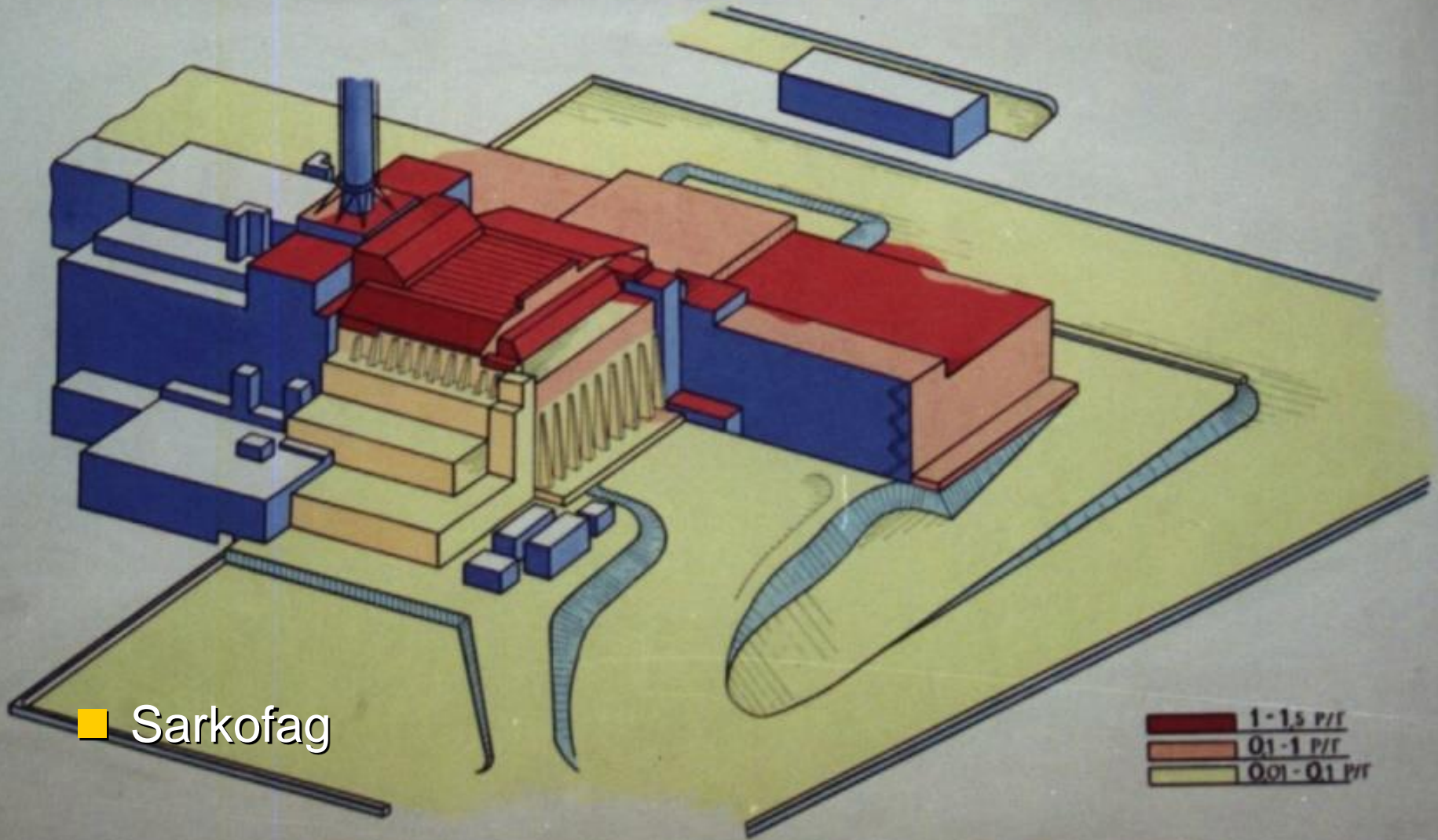
■ Wasilij (wieś Zalesie koło Czarnobyla, 2007 rok)

- Likwidatorzy
 - ▶ Ilia Susłow „Kaskader”






ОБ'ЄКТ "УКРИТТЯ"

РАДІАЦІЙНА ОБСТАНОВКА
ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД

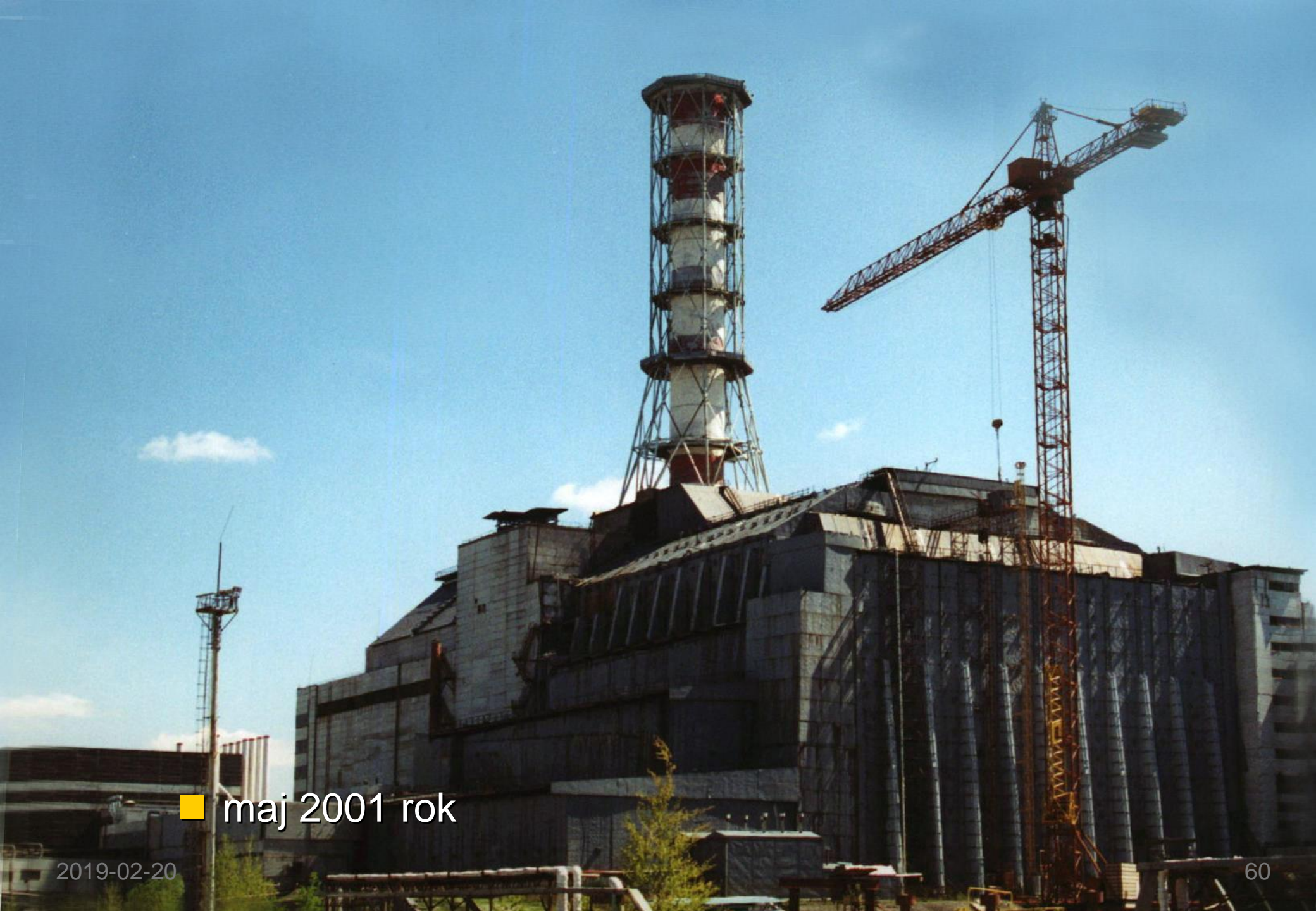


■ Sarkofag

	1-15 P/T
	01-1 P/T
	001-01 P/T



■ marzec 1995



■ maj 2001 rok

2019-02-20



■ Sarkofag reaktora nr 4

2019-02-20



■ Sarkofag przykryty Arkadą

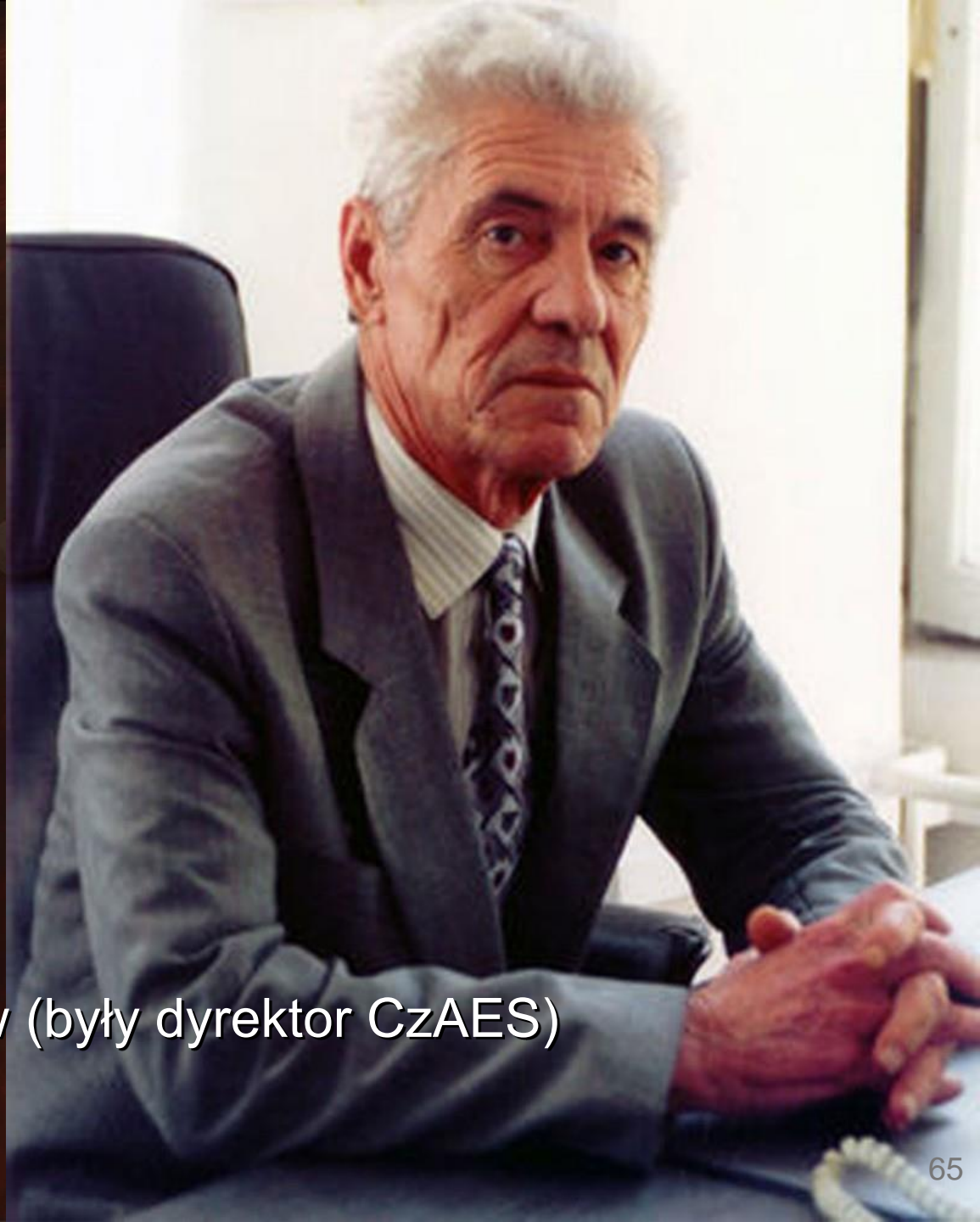


■ Proces czarnobylski (7-29 lipca 1987r)



■ Waldemar Siwiński

■ Wiktor Briuchanow (były dyrektor CzAES)





■ Czarnobyl, Dom Kultury

The image shows the interior of a large, empty hall, likely a community center or a small theater. The room is filled with rows of dark wooden chairs with green seats, arranged in a semi-circle facing a stage. The stage is at the far end of the room, featuring a piano and some musical instruments. The walls are light-colored, and there are several large windows on the right side, letting in bright light. A person is standing in the aisle on the left, and another person is visible near the stage. The ceiling is high and has some exposed pipes or wires.

■ Czarnobyl, Dom Kultury




■ Hala nieukończzonego reaktora nr 5



VISITOR
537


- Waldemar Siwiński
- Siergiej Akulinin

- 
- A photograph showing two men in white lab coats and hairnets in a control room. The man on the left is looking at a smartphone, and the man on the right is looking at a tablet. A third person in a white lab coat and hairnet is visible in the background. The room has a control panel with many buttons and screens on the left side.
- Waldemar Siwiński
 - Siergiej Akulinin

2019-02-20



■ Waldemar Siwiński




■ Waldemar Siwiński

Relacje świadków



■ Siergiej Franczuk

2019-02-20

- 
- A man with a mustache, wearing a dark jacket and a flat cap, stands outdoors on a paved area. He is gesturing with his right hand towards a large, light-colored industrial building in the background. The sky is overcast and grey. A utility pole is visible behind him. In the distance, another person in a military-style uniform is walking.
- Jurij Reichman (przedsiębiorstwo zarządzania odpadami promieniotwórczymi)

A close-up portrait of an elderly man with glasses, looking slightly downwards. He is wearing a blue and white checkered shirt. The background is dark and out of focus, with some green and yellow elements visible.

WALENTIN KUPNYJ

DYREKTOR SARKOFAGU W LATACH 1995-2006



EJ Czarnobyl

2019-02-20



EJ Czarnobyl

2019-02-20

■ dziękuję za uwagę