

# **CZARNOBYLSKA ELEKTROWNIA JĄDROWA: MONITORING JĄDROWY W OBIEKCIE "SCHRONIENIE" ORAZ CZARNOBYLSKIEJ STREFIE WYŁĄCZONEJ**



**Mgr.-Inż. Ievgen Petrenko**  
**Narodowe Centrum Badań Jądrowych**  
**27 czerwca 2017 r., Seminarium Zakładu**  
**Energetyki Jądrowej i Analiz Środowiska**

## Informacja historyczna

Katastrofa nuklearna na elektrowni jądrowej w Czarnobylu, która odbyła się w dniu 26 kwietnia 1986 roku jest za swoimi skutkami największym i najpoważniejszym wypadkiem w historii energetyki jądrowej.

Wybuchem została zniszczona aktywna strefa reaktora, zniszczone bariery bezpieczeństwa i systemy bezpieczeństwa.

Wybuch był podobny na eksplozję bardzo mocnej „brudnej bomby”.

Główny czynnik szkodliwy – skażenie radioaktywne.

Ze względu na charakter procesu zniszczenia 4-go bloku i po istotności skutków awaria odnosi się do 7-go poziomu za międzynarodową skalą wydarzeń jądrowych (INES).







Zniszczone konstrukcje bloku



Zniszczony czwarty blok energetyczny  
Czarnobylskiej Elektrowni



Roboty z likwidacji skutków wybuchu



# Główne podstawy katastrofy

- ❑ Polityczna (decyzja o eksperymencie na elektrownie została podjęta w Moskwie; personel elektrowni nie mógł prowadzić eksperyment bez wsparcia ze strony odpowiedniego ministerstwa);
- ❑ Techniczna podstawa, w tym:
  - ✓ Akceleracja reaktora na szybkich neutronach po wprowadzeniu w niego prętów regulacyjnych;
  - ✓ Niedopuszczalnie duży pozytywny efekt parowy reaktywności;
- ❑ Niski poziom kultury bezpieczeństwa w jądrowym sektorze byłego ZSRR;
- ❑ Słabość państwowego systemu regulacji i nadzoru.



Wzór zniszczonego 4-go bloku

## Jądrowe wybuchy w Ukrainie

Do katastrofy w Czarnobylu w Ukrainie zostali wykonani dwa jądrowe wybuchy, w tym:

- ❑ Charkowski obwód (akcja „Pochodnia”, ros. „Факел”) – 9 lipca 1972 r., cel – zamknięcie emisji awaryjnej gazu ziemnego, moc eksplozji – 3,8 kiloton; głębokość wybuchu - 2483 m;
- ❑ Doniecki obwód (akcja „Cleavage”) – 16 września 1979 roku, cel - zmniejszenie naprężenia w górotworze, moc eksplozji – od 0,2 do 0,8 kiloton; głębokość wybuchu – 903 m.

Eksperymenty były nieudane.

Decyzje o wybuchach zostały podjęte w Moskwie.



Mapa z punktami wybuchów

Kopalnia „Yunkom” (obiekt „Cleavage”)





Plutonowy ładunek  
(przykład)



Uranowy ładunek  
(przykład)

Zanieczyszczenie radioaktywne obszaru: brak danych.

Typy ładunków jądrowych wykorzystanych przy wybuchach: brak danych.

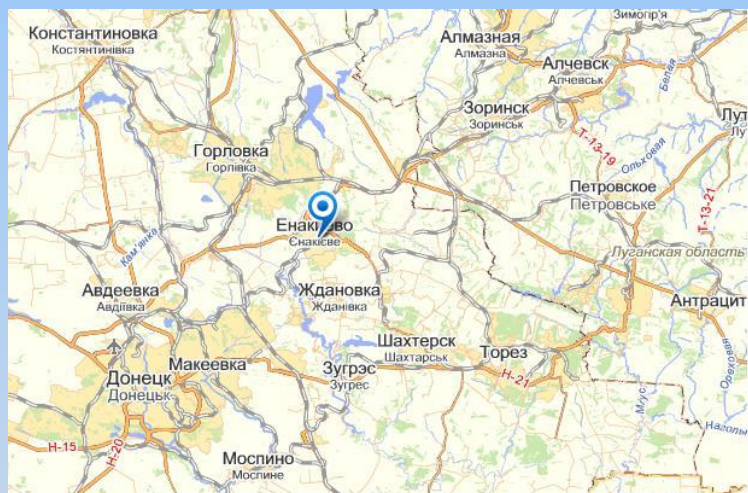
Możliwe konsekwencje wybuchów: zanieczyszczenie wód podziemnych przez radioizotopy wymyte z ciała powstałego w wyniku eksplozji jądrowej.

Po operacji „Cleavage” zostało utworzone blisko 100 ton szklistych produktów wybuchu („sucha konserwacja” produktów wybuchu).

W stosunku do kopalni „Yunkom” nie ma programu monitoringu środowiska w ciągu 300 lat (poprzedni Program został rozrobiony do początku działań wojskowych na Donbasie).

Kopalnia znajduje się na terytorium okupowanemu.

Główny projektant Programu monitoringu oraz właściciel wszystkich danych projektowych – rosyjski badawczy instytut (Moskwa).



Punkt wybuchu na mapie Donbasu

## Obiekt „Schronienie”

Zgodnie z ukraińskim prawem Obiekt „Schronienie” (OS) jest tymczasowym magazynem niezorganizowanych odpadów promieniotwórczych (Normy bezpieczeństwa radiacyjnego Ukrainy (Dodatek). Ochrona od źródeł narażenia potencjalnego, NRBU-97/D-2000.)



Działania ze stabilizacji OS (Shelter Implementation Plan)

„Schronienie” jest potencjalnie jądrowo-niebezpiecznym obiektem.

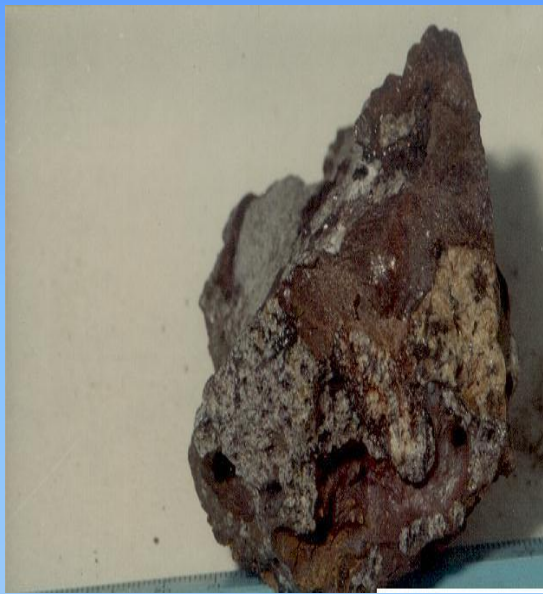
Główne źródło niebezpieczeństwa OS – paliwo jądrowe, które zawarte w metalowo-ceramicznych masach (paliwo zawierających materiałach).

Paliwo zawierające materiały – uszkodzone w wyniku awarii paliwo jądrowe, niezależnie od fizycznego i chemicznego stanu, zestawy paliwowe, które znajdują się w basenu ochłodzenia, a także wszelkie materiały (fragmenty strefy aktywnej, mieszanki, topi, roztwory, chemiczne substancje), w składzie których zawarte paliwo jądrowe (czyli go koncentracja składu  $\geq 1$  % wagowego).

Lawopodobne paliwo zawierające materiały – heterogeniczne szkliste masy brązowego lub czarnego koloru z inkluzjami różnego charakteru:

- Brązowa szklista masa („brązowa ceramika”);
- Czarna szklista masa („czarna ceramika”);
- Szlak lub szlakopodobne, granulowany materiały;
- Kruche kawałki, tak zwane „pumeks”.





Brązowa ceramika (basen-barboter)



Pumeks (basen-barboter)



Brązowa ceramika z dużymi kroplami  
i potokami metalu



Czarna ceramika („noga słona”)





„Noga słona” – zastygnąca masa z betonu, materiałów konstrukcyjnych, paliwa jądrowego, która przeciekła w dolne pomieszczenia pod reaktorem

Pod reaktorem znajdował się rezerwuuar basenu barbotera z wodą (blisko 20 000 metrów kubicznych).

Kontakt lawy z wodą spowodowałby wybuch dodatkowy, skutkami którego mogliby być (Stephen McGinty, czasopis „The Scotsman” z dnia 16 marca 2011 r.):

- wyparowanie paliwa jądrowego w trzech pozostałych reaktorach;
- zniszczenie blisko 200 kilometrów kwadratowych, w tym i Kijowa;
- zanieczyszczenie systemu wodnego, przez który używali wodę blisko 30 mln. osób;
- Północna Ukraina byłaby zanieczyszczaną ponad sto lat.



Czarna ceramika („noga słona”)

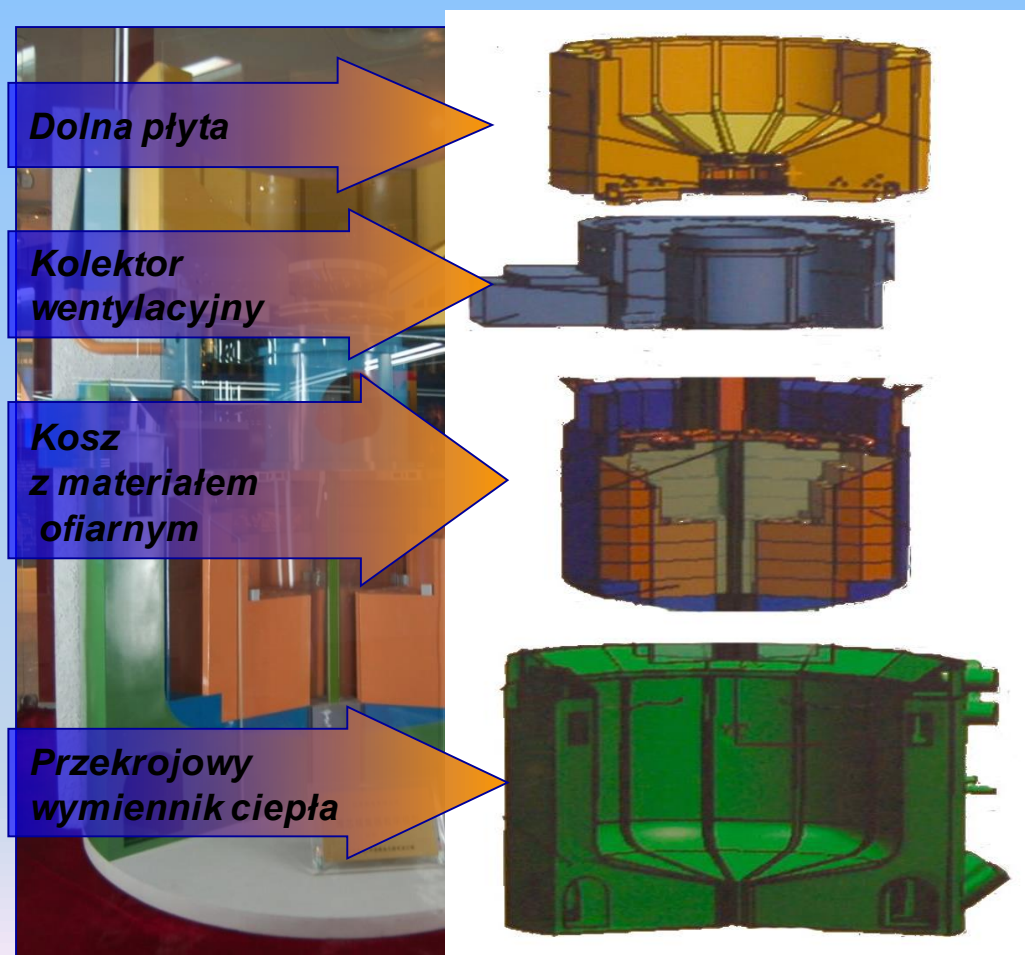


W czasie awarii żadna elektrownia jądrowa w ZSRR nie miała pułapki dla roztopionego rdzenia reaktora.

Ostatnie projekty elektrownie jądrowych zawierają już pułapkę dla roztopionego rdzenia reaktora.

Pułapka dla roztopionego rdzenia reaktora pozwala wykluczyć podstawy penetracji fundamentu pod reaktorem w każdym wypadku hipotetycznym.

Wzór pułapki dla roztopionego rdzenia reaktora (rosyjski projekt – АЭС-2006)



## Monitoring jądrowy obiektu „Schronienie”

Bezpieczeństwo jądrowe obiektu „Schronienie” jest nieprzerwanie oceniane za pomocą pomiarów regularnych parametrów materiałów paliwa zawierających.

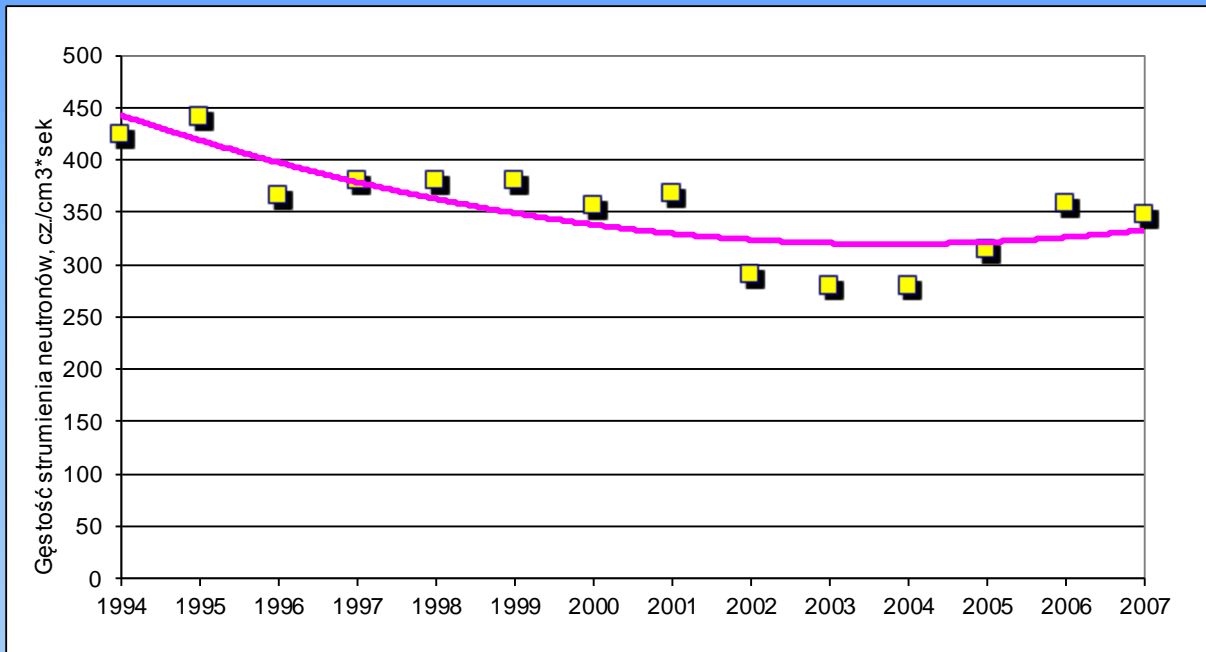
### Parametry monitoringu:

- Gęstość strumienia neutronów (16 punktów kontrola);
- Dawka ekspozycyjna gamma-promieniowania (15 punktów kontrola);
- Temperatura jak parametr technologiczny (charakteryzujący sprawność bloków czujników: neutronów i gamma);
- Zawartości wodoru w powietrzu.

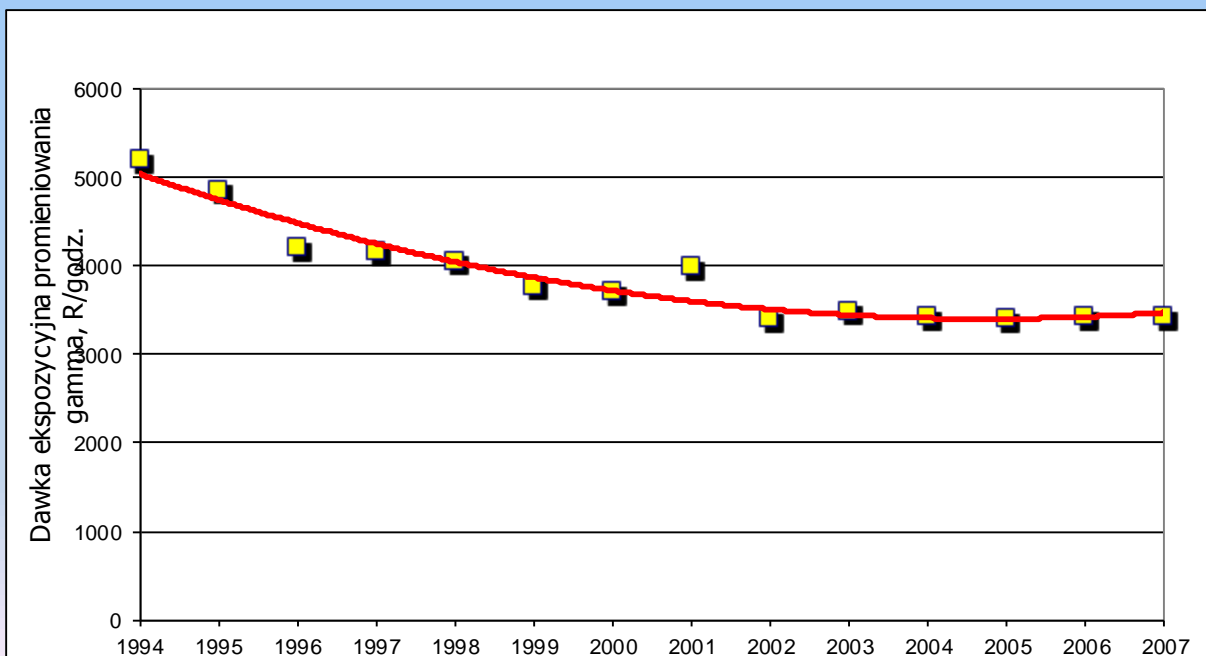
### Przykładowe parametry za 2007 rok:

Parametr	Max	Min
Dawka gamma (R/godz.)	3425	<50
Neutron (neutr./cm <sup>2</sup> ×sec)	347	wartość tła
Temperatura (°C)	+31	-1,0
Zawartość H <sub>2</sub> (%)	0,25	0,01

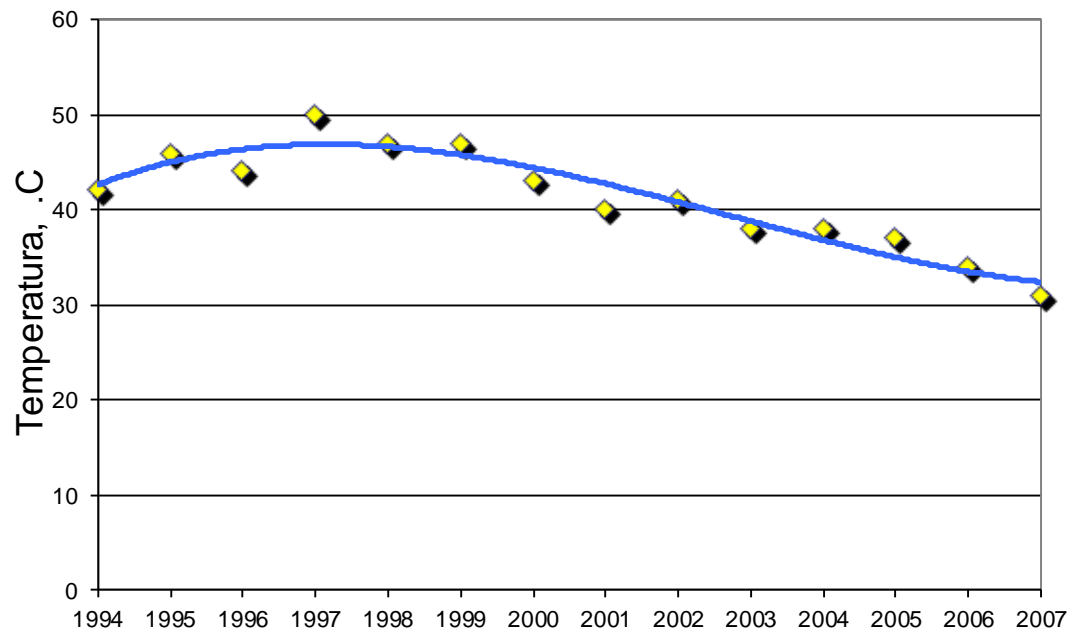




**Dynamika zmiany gęstości strumienia neutronów**



**Dynamika zmiany dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma**



**Dynamika zmiany temperatury maksymalnej w pomieszczeniu z materiałami paliwo zawierającymi**

Bezpieczeństwo jądrowe obiektu „Schronienie” zapewnia się systemem organizacyjnych i technicznych działań podczas prowadzenia robot jądrowo-niebezpiecznych, kontrolę stałego za stanem materiałów paliwo zawierających i ich utrzymaniem (w razie przekroczenia poziomów założonych krytycznych) w podkrytycznym stanie – dla zapobiegania samopodtrzymującej się reakcji łańcuchowej rozszczepiania – drogą wprowadzenie neutronopochłaniających mieszanek (0,1 % roztworu azotanowego gadolinu -  $Gd(NO_3)_3 \times 6H_2O$ ).



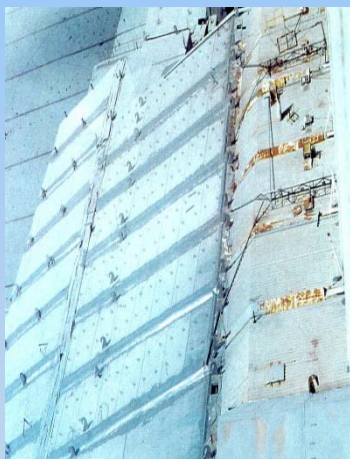
## Woda radioaktywno-zanieczyszczona w obiekcie “Schronienie” (do 2016 r.)

Główne źródło przepływu wody do pomieszczeń obiektu – opady atmosferyczne.

Średnia roczna objętość wody w obiekcie – 5000 metrów kubicznych (do 2016 r.).

30 % aktywności całkowitej są na cząstkach fazy stałej rozmiarem 0.03-1.0 mkm, większość na cząstkach koloidalnych.

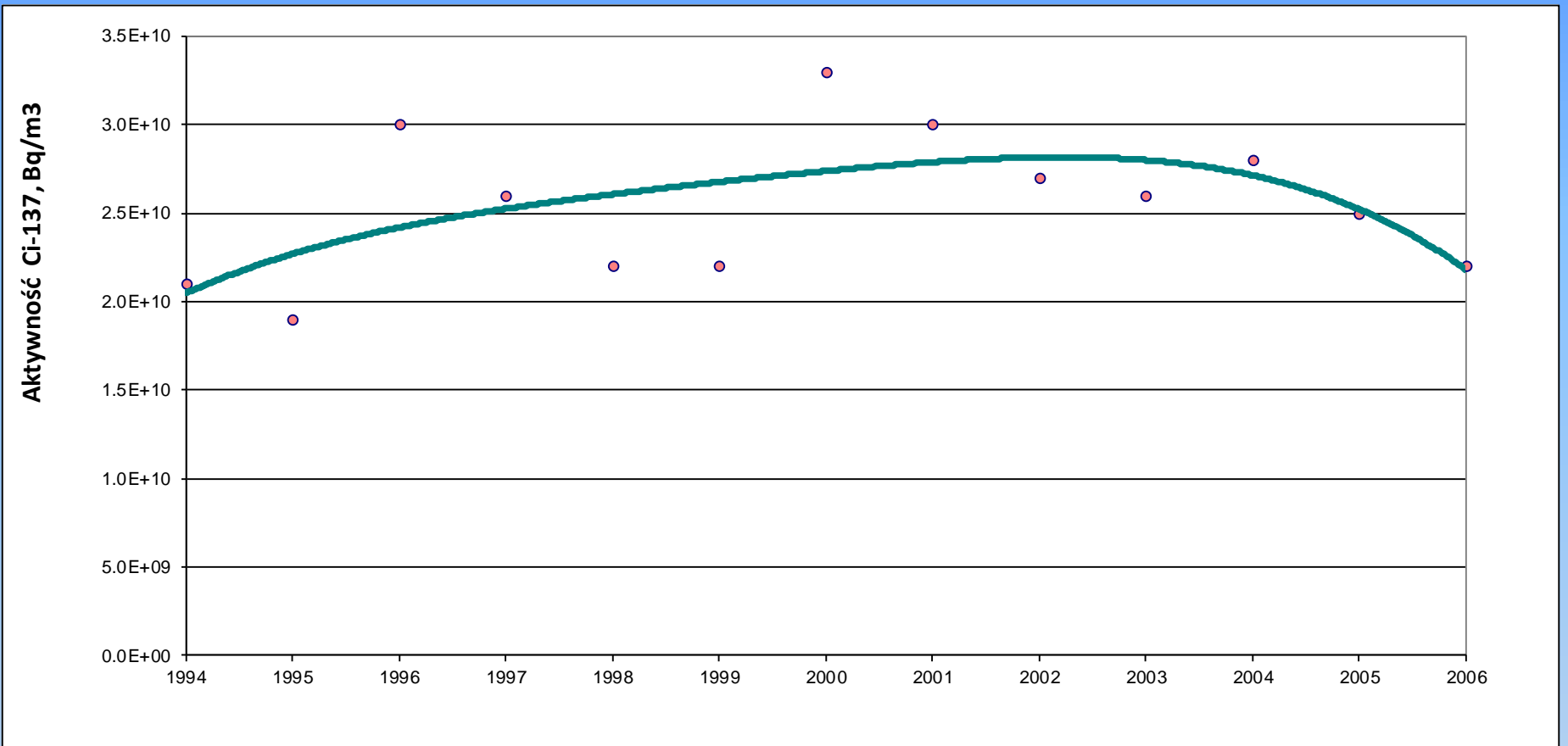
Głównym źródłem zanieczyszczenia wody elementów rozszczepialnych i  $^{90}\text{Sr}$  są utlenione cząstki paliwa ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ).



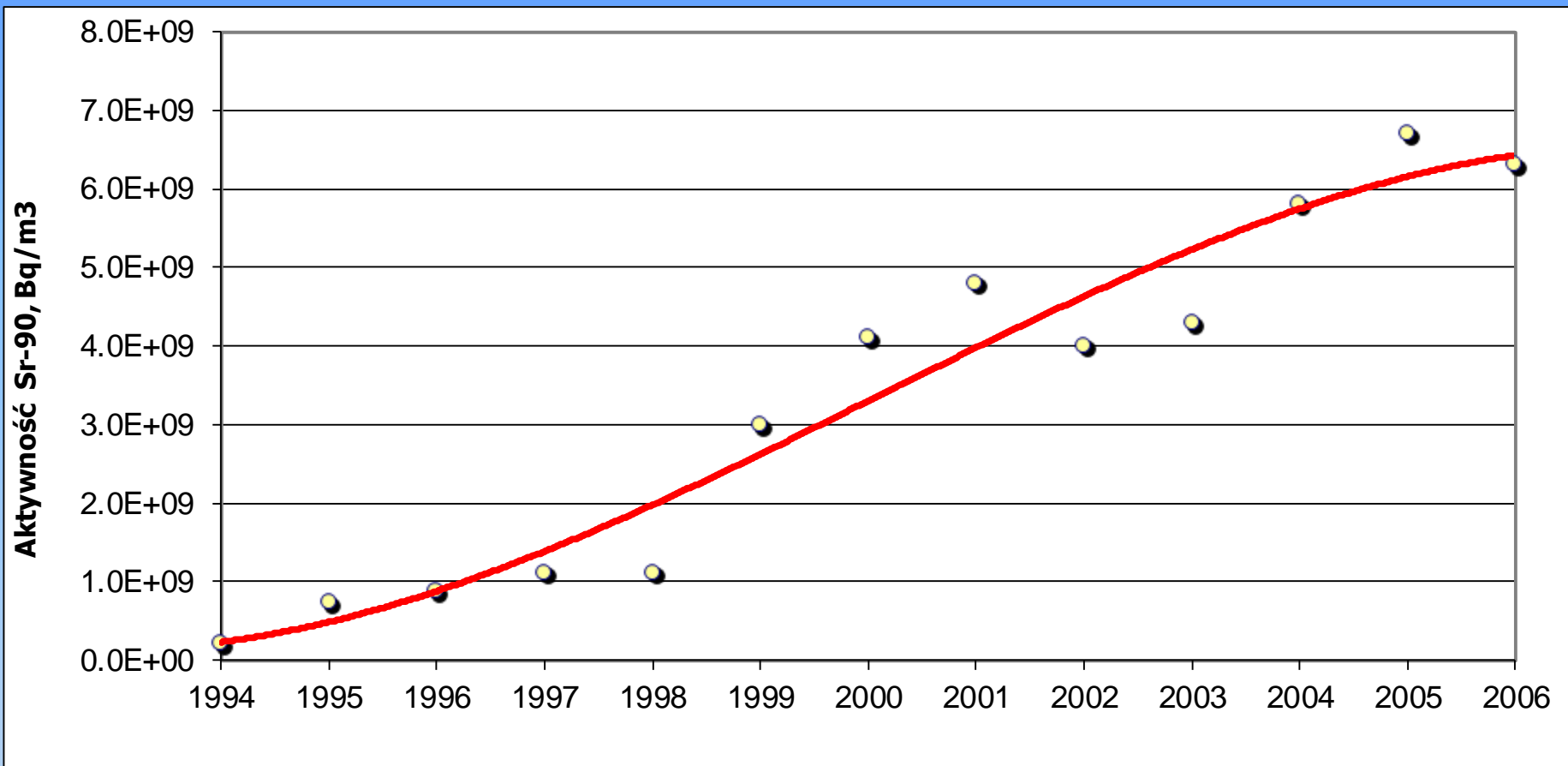
Droga przepływu wody



Woda w obiekcie „Schronienie”

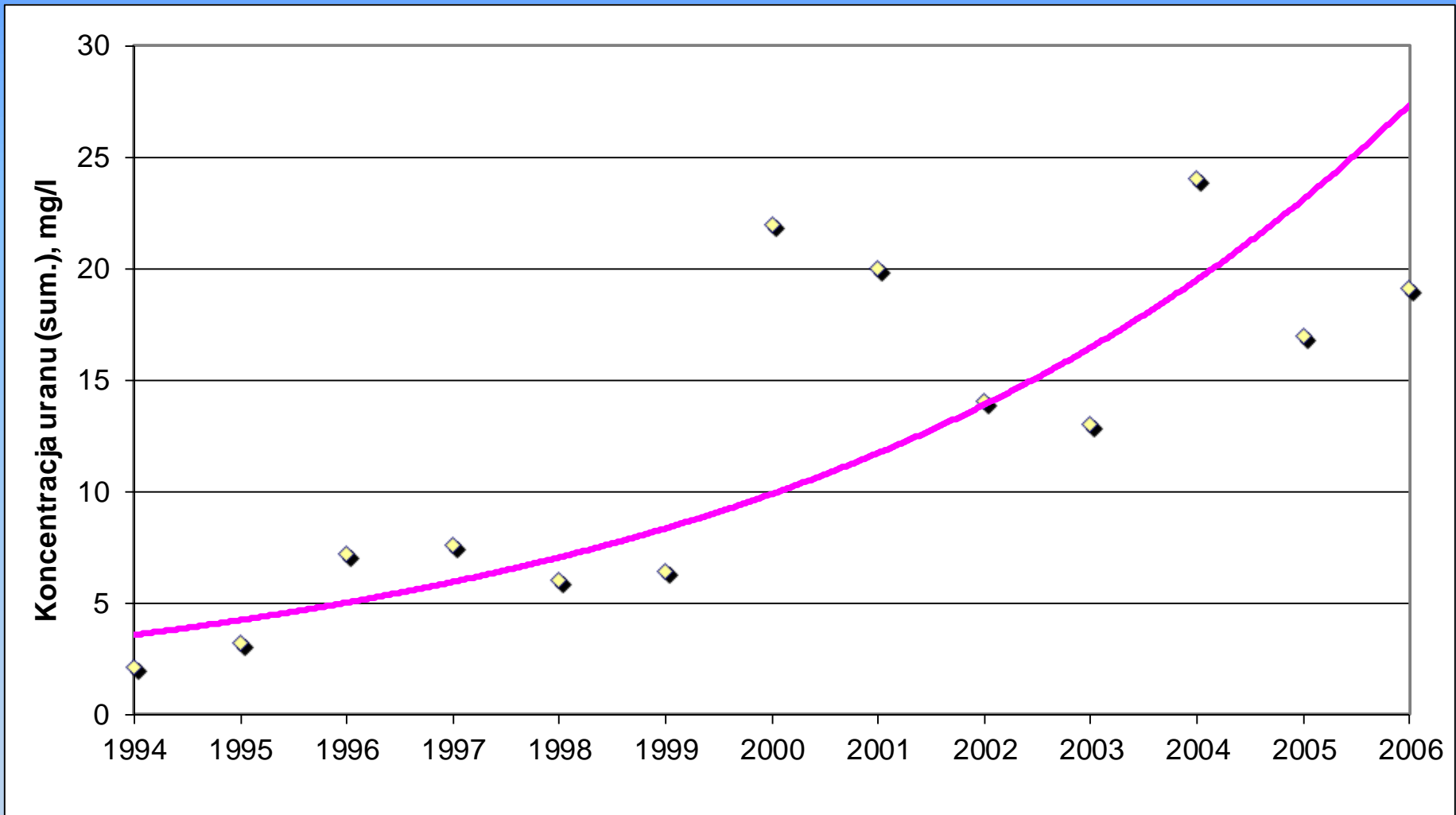


**Dynamika zmiany aktywności średniorocznej Cs-137**

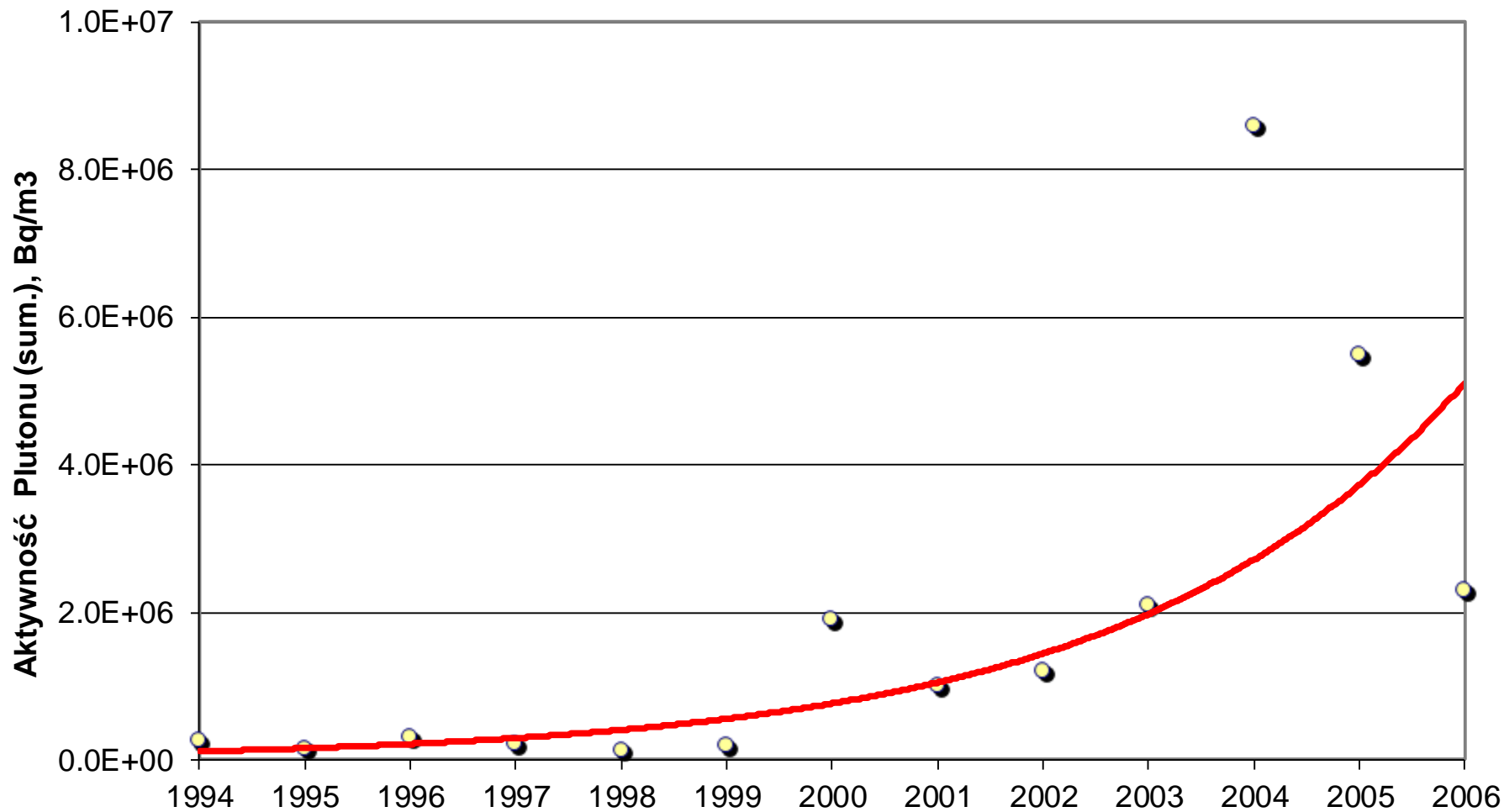


**Dynamika zmiany aktywności średniorocznej Sr-90**





**Dynamika zmiany średniorocznej koncentracji uranu (sum.), mg/l**



**Dynamika zmiany aktywności średniorocznej plutonu (całkowitego)**



## Skażenie radioaktywne powietrza obiektu „Schronienie”

Wartości aktywności objętościowej aerozoli w powietrze pomieszczeń obiektu:

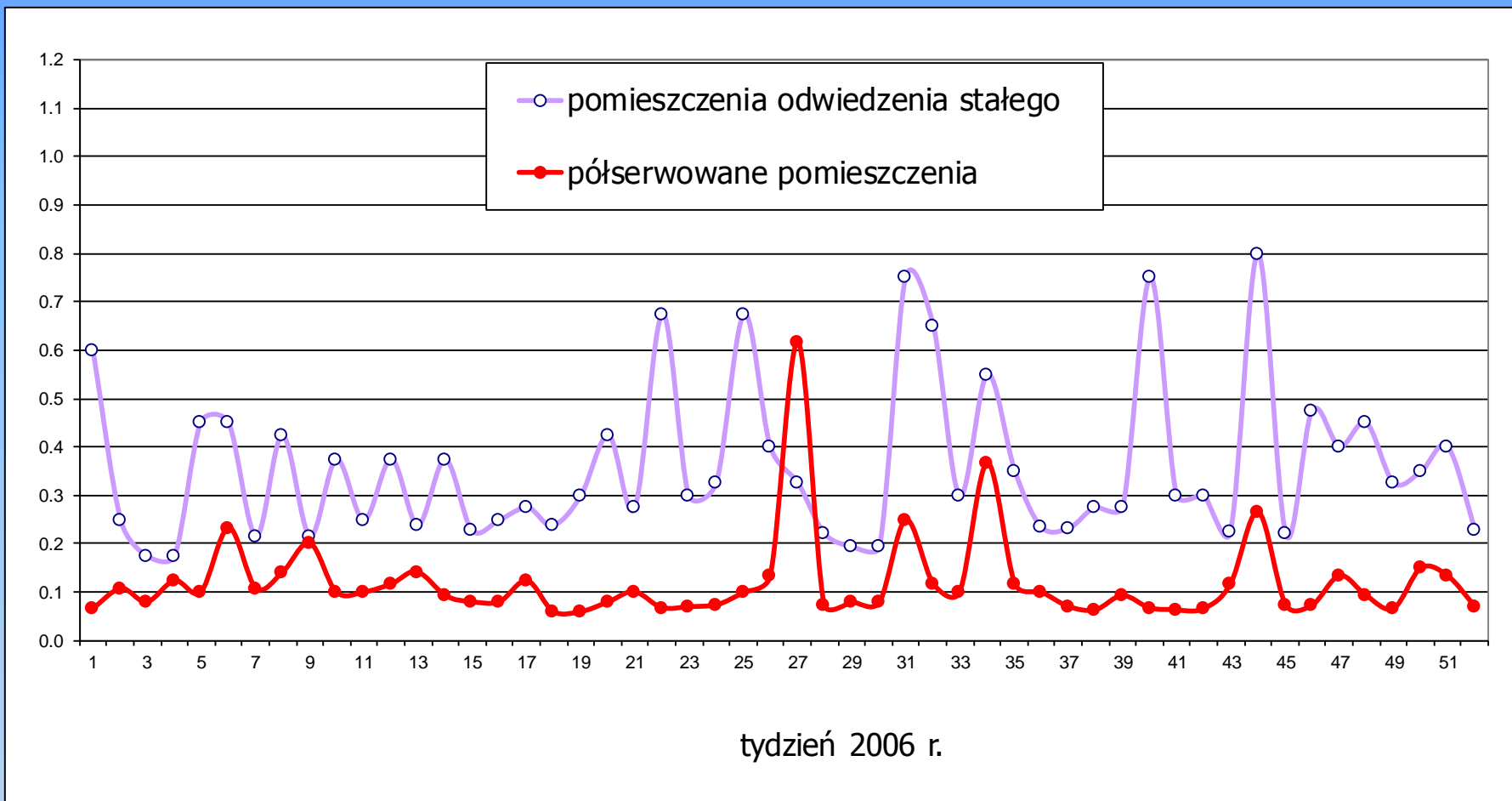
Badany parametr	Rok					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Koncentracja $\alpha$ -aerozolu w pomieszczeniach, Bq/m <sup>3</sup>	3.7E-3 – 17E+0	3.7E-4 – 3.2E-1	3.7E-4 – 18.9E+0	0.2E-3 – 13E+0	0.8E-3 – 4.9E+0	1.2E-4 – 8.4E-1
Koncentracja $\beta$ -aerozolu w pomieszczeniach, Bq/m <sup>3</sup>	3.7E-1 – 1.3E+3	3.7E-2 – 77.7E+0	1.9E-2 – 1.9E+3	1.0E-2 – 3.2E+2	2.0E-2 – 6.2E+2	1.4E+2

Koncentracje kontrolne alfa-aktywnych długowiecznych radionuklidów w powietrze obszaru roboczego:

- dla półserwowanych pomieszczeń (z okazjnym odwiedzeniem personelu) – 0,12 Bq/m<sup>3</sup>;
- dla pomieszczeń odwiedzenia stałego -  $4 \cdot 10^{-2}$  Bq/m<sup>3</sup>.

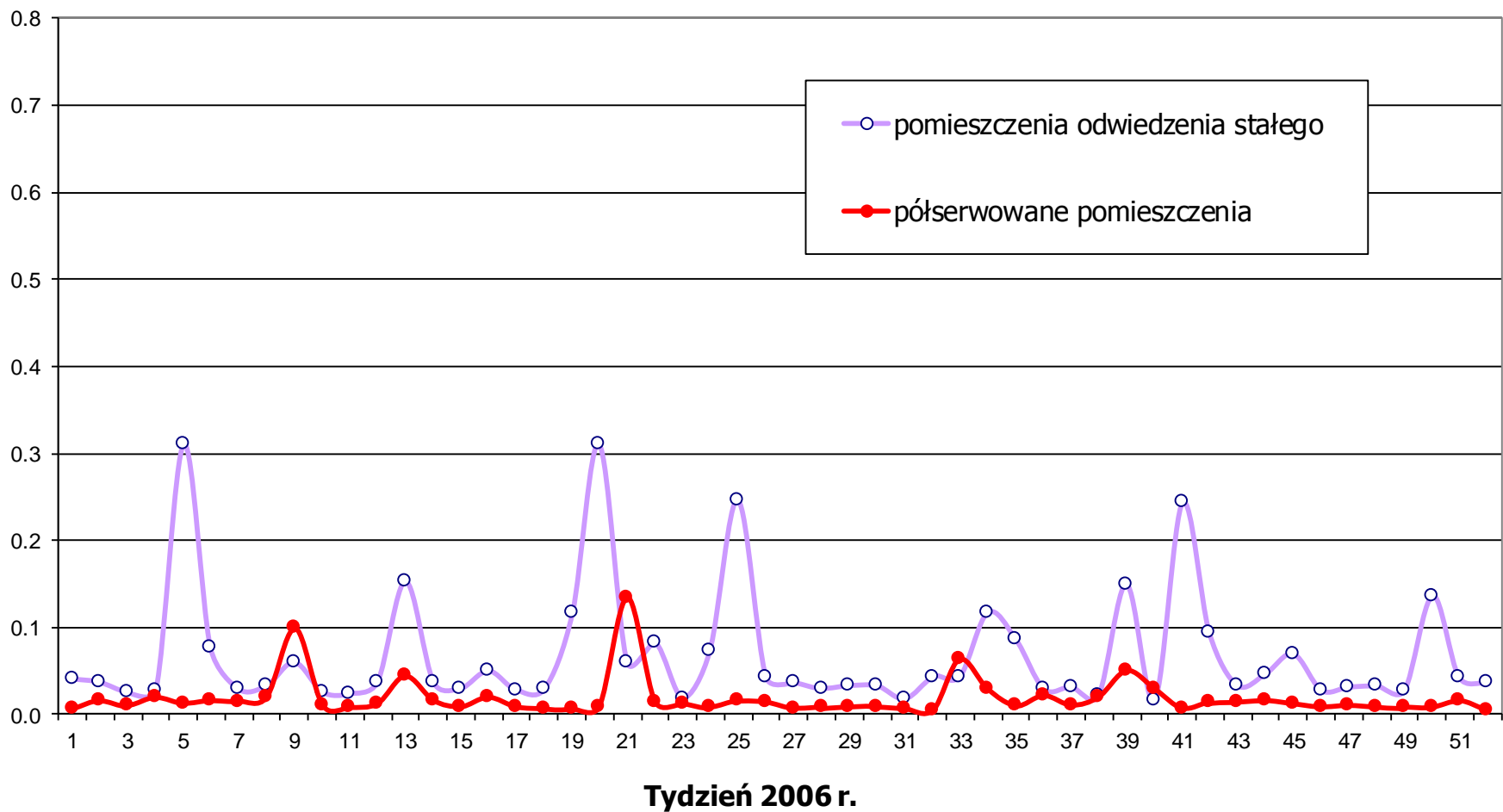
Koncentracje kontrolne beta-aktywnych długowiecznych radionuklidów w powietrze obszaru roboczego:

- dla półserwowanych pomieszczeń (z okazjnym odwiedzeniem personelu) – 8,9 Bq/m<sup>3</sup>;
- dla pomieszczeń odwiedzenia stałego – 3 Bq/m<sup>3</sup>.



**Dynamika zmiany aktywności alfa-aerozolu w pomieszczeniach obiektu „Schronienie” (maksymalna wartość w stosunku koncentracji kontrolnej alfa-cząstek) w ciągu 2006 roku**





**Dynamika zmiany aktywności beta-aerozolu w pomieszczeniach obiektu „Schronienie” (maksymalna wartość w stosunku koncentracji kontrolnej beta-cząstek) w ciągu 2006 roku**

## Skład głównych radionuklidów i udział ich aktywności w aerozolach dla różnych średnic aerodynamicznych

Zakres średnic aerodynamicznych, mkm	Udział ich aktywności w aerozolach, %						
	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs (S)	<sup>137</sup> Cs (F)	<sup>238</sup> Pu	<sup>239, 240</sup> Pu	<sup>241</sup> Pu	<sup>241</sup> Am
mniej 0.49	9.64	9.86	9.86	0.07	0.15	3.23	0.18
od 0.49 do 0.95	3.21	3.29	3.29	0.02	0.05	1.08	0.06
od 0.95 do 1.5	3.50	3.59	3.59	0.03	0.06	1.18	0.07
od 1.5 do 3.0	3.80	3.89	3.89	0.03	0.06	1.27	0.07
od 3.0 do 7.2	3.80	3.89	3.89	0.03	0.06	1.27	0.07
wencej 7.2	5.26	5.38	5.38	0.04	0.08	1.76	0.10
Skład radionuklidny, %	29.20	29.89	29.89	0.21	0.46	9.80	0.56

## Nowe bezpiecznie schronienie (New Safe Confinement)

Obiekt „Schronienie”, zbudowany w 1986 roku, nie jest wiecznym.

Projektowy termin eksploatacji – 20...40 lat.

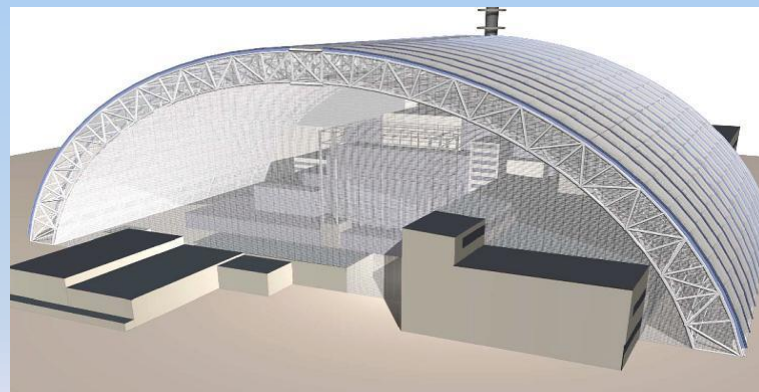
Po budowie obiekt „Schronienie” został wzmocniony kilka razy (na przykład, działania stabilizujący w ramach Shelter Implementation Plan w 2006-2007 latach).

Jednak, ze względu na wysoki stopień ryzyka w przypadku zniszczenia obiektu „Schronienie”, zdecydowano zbudować dodatkową ochronę – Nowe bezpiecznie schronienie (New Safe Confinement lub Schronienie-2).

Nowe schronienie powinno:

- Zapewniać ochronę dodatkową środowiska od cząstek promieniotwórczych;
- Zapewniać możliwość prowadzenia demontażu cząstkowego konstrukcje awaryjnych i nieodpowiedzialnych obiektu „Schronienie” i elektrowni jądrowej;
- Zapewniać izolację obiektu „Schronienie” od przyływu wód deszczowych i stopionych.

Zgodnie z prawem ukraińskim, Schronienie-2 – struktura ochronna, która zawiera kompleks urządzenia technologicznego dla ekstrakcji z zniszczonego czwartego bloku elektrowni materiałów, zawierających paliwo jądrowe, postępowania z odpadami promieniotwórczymi i inne systemy, przeznaczony na realizację działań po transformacji tego bloku energetycznego w ekologiczno-bezpieczny system i zapewnienia bezpieczeństwa pracowników, populacji i środowiska.



Nowe bezpiecznie schronienie (koncepcja)



## Główne etapy projektu

- ❑ 2004 r. – Project konceptualny nowego schronienia.
- ❑ 2007 r. – Kontrakt na budowę został podpisany.
- ❑ 2010 – 2011 rr. – został przygotowany plac montażowy niedaleko od elektrowni jądrowej.
- ❑ 2012 r. – początek montażu połów Schronienia-2. W listopadzie 2012 roku, w czerwcu 2013 roku, wrześniu 2013 roku dokonały się operacji podnoszenia pierwszej połowie struktury, ona została zebrana w kwietniu 2014 r. Dla drugiej połowy struktury operacji podnoszenia dokonały się w kwietniu 2014, sierpniu 2014 i październiku 2014 roku.
- ❑ 2014 r. – skończenie demontażu rury wentylacyjnej bloków nr. 3 i 4 (rura została zniszczona podczas wybuchu w 1986 roku i w każdej chwili mogła spaść na dach obiektu „Schronienie”). Wysokość rury – 150 metrów, masa – blisko 350 ton.
- ❑ Październik 2015 r. – skończenie montażu dwóch połów struktury.
- ❑ Listopad 2016 r. – udane przesuwanie jednolitej struktury „Schronienia-2” na czwarty blok elektrowni jądrowej. Trwa roboty z hermetyzacji struktury, montażu urządzenia i system.
- ❑ Listopad 2017 r. – uruchamianie „Schronienia-2”.



**Była rura wentylacyjna bloków nr. 3 i 4**



**Nowe bezpiecznie schronienie (New Safe Confinement)**

## **Kompleksowy system monitoringu radiacyjnego i wczesnego ostrzegania Strefy Wyłączonej Czarnobylskiej (projekt TACIS U4.01/05)**

Podstawa rozwoju. Projekt TACIS U4.01/05, kontrakt Nr. 116807 „Stworzenie kompleksowego systemu monitoringu radiacyjnego i wczesnego ostrzegania Strefy Wyłączonej Czarnobylskiej” w okresie od 07.11.2008 do 07.05.2011 r.;

Dawca: Komisja Europejska;

Twórca systemu: Korporacja „Ukraińskie atomowe urządzenia i systemy” („Ukratominstruments” Corporation)

Klient: Państwowe Specjalistyczne Przedsiębiorstwo Naukowo-Produkcyjne „Czarnobylski Radiologiczny Centrum” (skrótowe, Ecocenter)

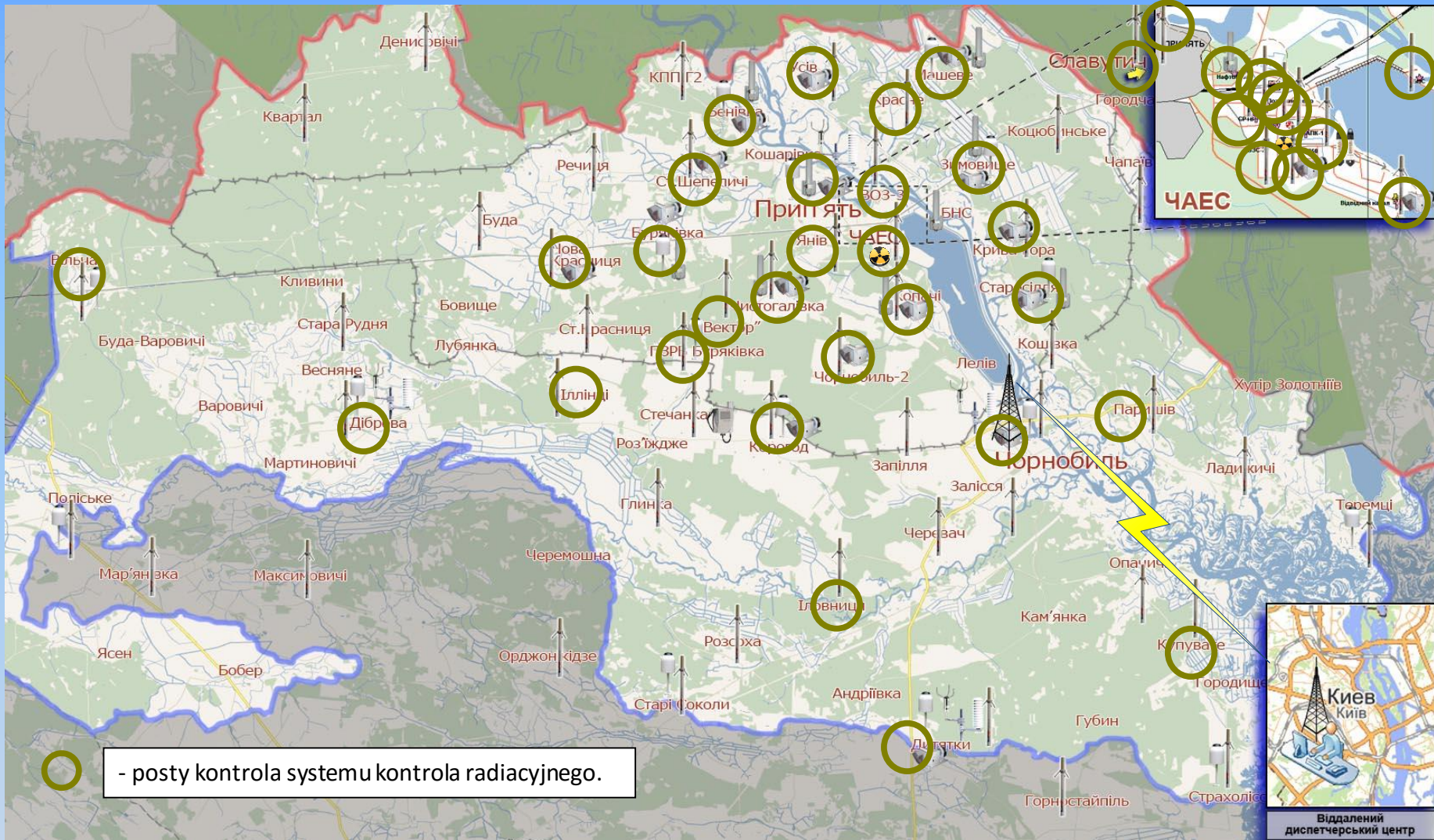
Beneficjent: Ministerstwo Sytuacji Nadzwyczajnych Ukrainy i Spraw Ochrony Ludności od skutków Katastrofy w Czarnobylu

Lokalizacja systemu: Strefa wyłączona i strefa relokacji bezwarunkową (obowiązkowe)

Data początku eksploatacji próbnej: 21 kwietnia 2011 r.

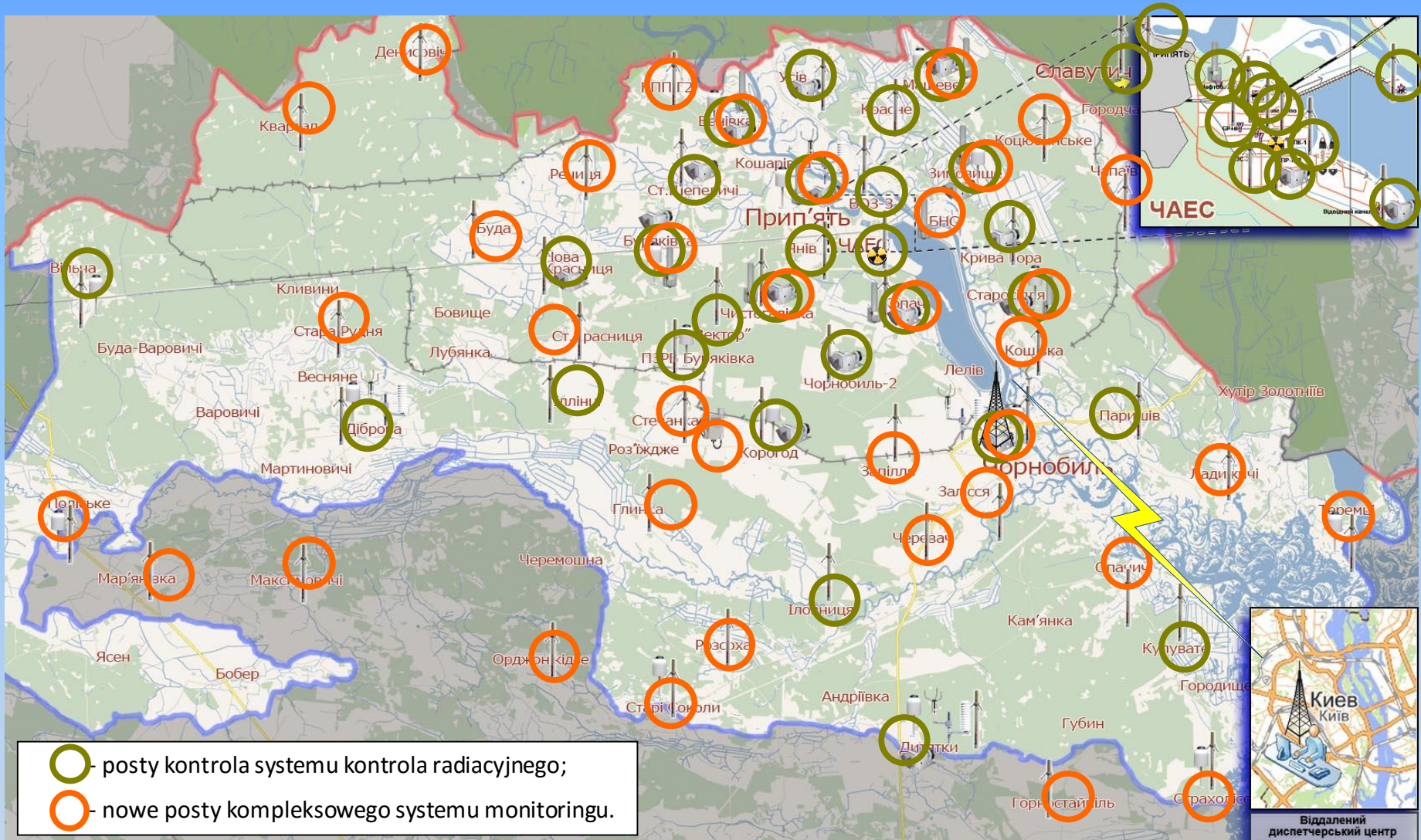


# Dynamika rozwoju poprzedniego systemu kontrola radiacyjnego i monitoringu



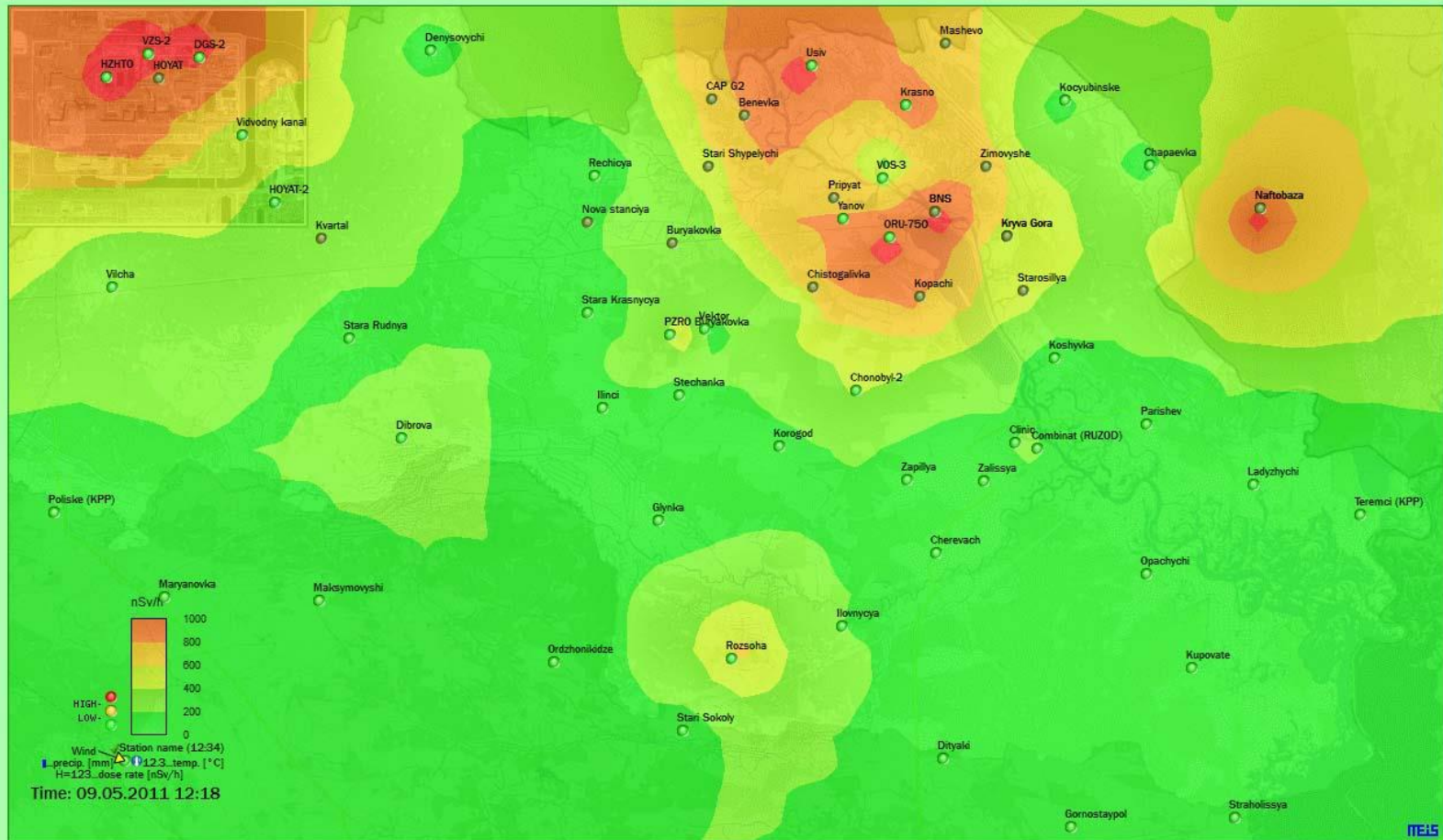


# Dynamika rozwoju systemów monitoringu



Username: admin

Change

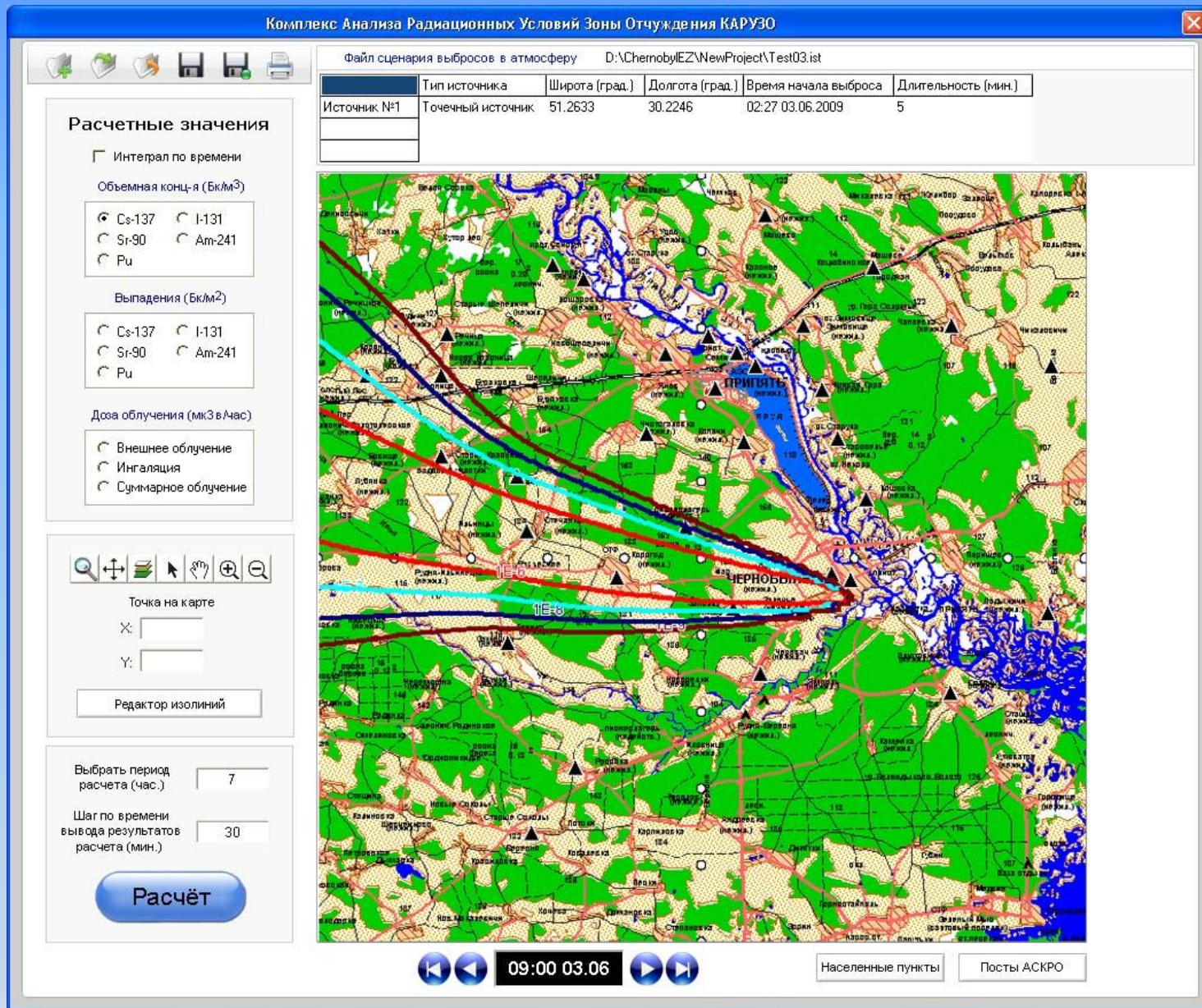


-1 month -7 days -1 day -6 hours -1 hour -30 minutes +30 minutes +1 hour +6 hours +1 day +7 days +1 month

CHANGE PRESENTATION

# Internet-Interfejs dostępu do oprogramowania kompleksowego systemu monitoringu radiacyjnego





**Instrumenty wizualizacyjne do kompleksowego systemu monitoringu**



## Skład kompleksowego systemu monitoringu

- ✓ 37 stacje pomiarów dawki promieniowania gamma;
- ✓ 4 naziemne oraz 1 wysoka stacje pogodowe;
- ✓ 1 stacja kontrola automatycznego radioaktywności aerozoli;
- ✓ 3 stacje kontrola wody;
- ✓ 1 post centralny w Czarnobylu;
- ✓ 1 post rezerwowy w Kijowie;
- ✓ 1 komplet urządzenia dozymetrycznego;
- ✓ 1 urządzenie do ochrony przed skokami napięcia i piorunami;
- ✓ 20 transceiverów + 1 odbiornik do stacje odbioru prób powietrza;
- ✓ Oprogramowanie systemowe i oprogramowanie komunikacyjne;
- ✓ Dokumentacja projektowa.



Urządzenie systemu  
(przykłady)

**DZIĘKUJĘ ZA CIERPLIWOŚĆ I UWAGĘ!**