



Zakłady Pomiarowo – Badawcze Energetyki  
**ENERGOPOMIAR Sp. z o.o.**

# Otwarte źródła promieniotwórcze w diagnostyce obiegów chłodzących w energetyce zawodowej

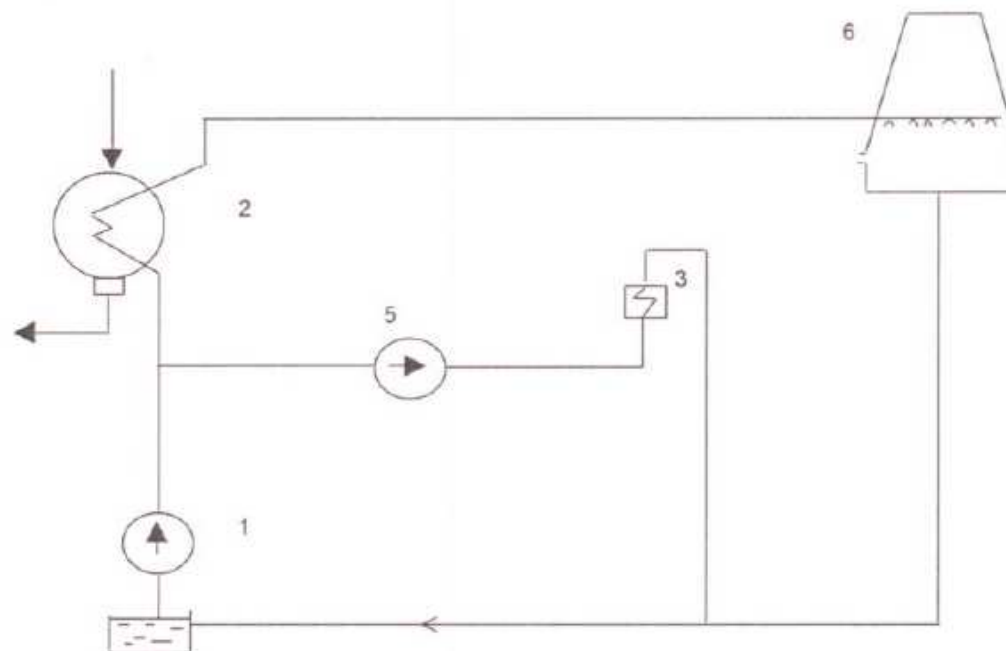
Skorzęcin, czerwiec 2014 r.

## Plan prezentacji



- ✓ Obieg wody chłodzącej w energetyce zawodowej
- ✓ Omówienie pomiarów natężenia przepływu wody w obiegach chłodzących z wykorzystaniem źródeł otwartych
- ✓ Inne przykłady wykorzystania źródeł otwartych w diagnostyce urządzeń energetycznych
- ✓ Przebieg prac terenowych z wykorzystaniem źródeł otwartych z punktu widzenia ochrony radiologicznej

## Obieg wody chłodzącej



Rysunek 2. Zasadnicze obiegi chłodzenia skraplaczy turbin: a) obieg otwarty; b) obieg zamknięty z chłodnią kominową  
1 - pompa wody chłodzącej; 2 - skraplacz; 3 - chłodnice wewnętrznego układu wody chłodzącej; 4 - studnia lewarowa z zasyfonowaniem rurociągu odpływowego; 5 - pompa wody wewnętrznego układu chłodzenia; 6 - chłodnia kominowa

## Obieg wody chłodzącej



Przeznaczenie obiegu wody chłodzącej - odprowadzenie ciepła wyzwalającego się w procesie skraplania pary z turbiny kierowanej do skraplacza przy jak najniższej temperaturze

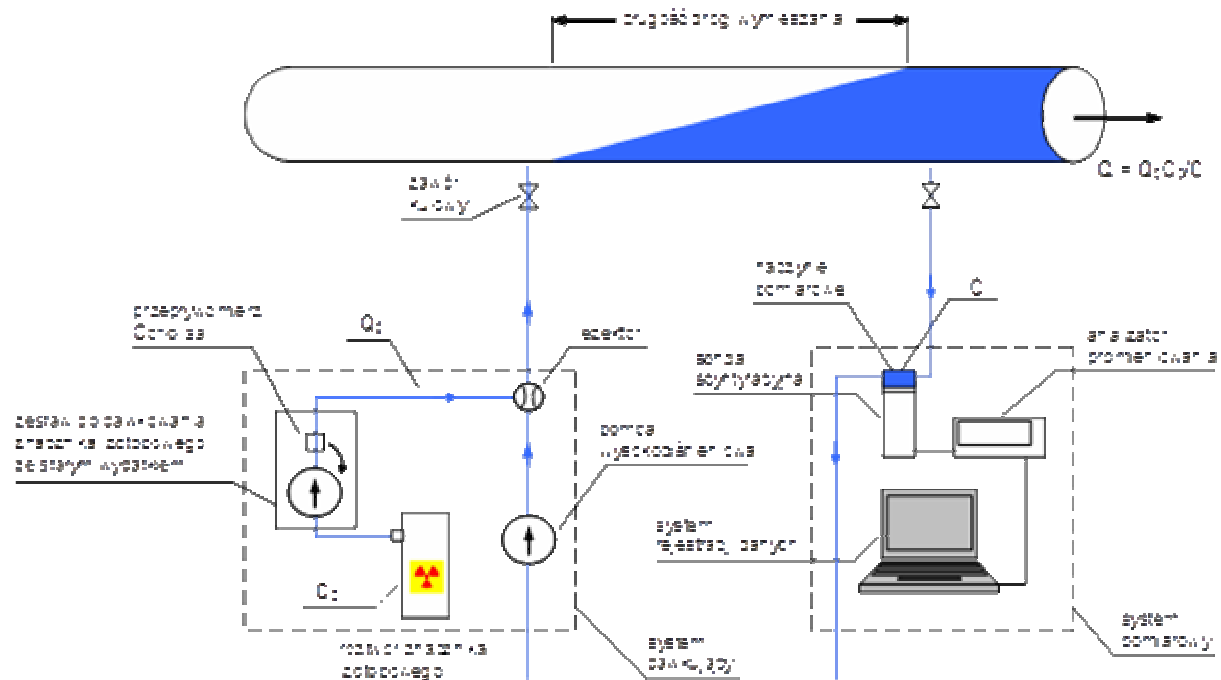
Wzrost temperatury wody chłodzącej o 1 K pociąga za sobą dodatkowe zużycie paliwa przez blok energetyczny o mocy 200...380 MW odpowiednio o 2 000... 4 000 t /rok . Koszt dodatkowego paliwa (węgla) to około 450...900 tys. zł / rok

Natężenie przepływu wody chłodzącej podstawowym parametrem pracy urządzeń obiegu chłodzącego.

Metoda jest uregulowana następującymi normami :

- ISO 2975/I-1976 „Measurement of water flow in closed conduits-Tracer methods-Part I: General
- ISO 2975/III-1976 „Measurement of water flow in closed conduits-Tracer methods-Part III: Constant rate injection method using radioactive tracers
- ISO 553/3-1982 „Liquid flow measurement in open channels - Dilution methods for measurement of steady flow - Part 3: Constant rate injection method and integration method using radioactive tracers.”

# Schemat pomiaru natężenia przepływu metodą ciągłego dawkowania znacznika izotopowego



Objaśnienia:  
 $Q_0$  – wydatek dawkanego znacznika izotopowego  
 $C_0$  – stężenie dawkanego znacznika izotopowego

## Zestawienie przyrządów do pomiarów natężenia przepływu wody metodą ciągłego dawkowania znacznika izotopowego

Nazwa przyrządu	Przeznaczenie	Błąd	Metoda sprawdzenia
1	2	3	4
Zestaw dozujący z przepływomierzem Coriolisa	Dawkowanie roztworu znacznika izotopowego ze stałą wydajnością	0,4 % wartości mierzonej	świadcstwo producenta
Pipety automatyczne o stałej pojemności	Wyznaczenie współczynnika rozcieńczenia roztworu dawkowanego znacznika izotopowego użytego do sporządzenia próbki odniesienia	do 0,3 % wartości mierzonej	świadcstwa producenta
Wagi laboratoryjne z przetwornikiem kamertonowym		do 0,02 % wartości mierzonej	świadcstwa producenta
Zestaw radiometryczny z sondami scyntylacyjnymi	Pomiar aktywności właściwej pobieranych próbek wody i roztworu dawkowanego znacznika izotopowego	od 0,1 % obliczany jako pierwiastek zmierzonej liczby impulsów	Test statystyczny $\chi^2$ i test stabilności pracy przy użyciu źródła $^{241}\text{Am}$ oraz $^{99\text{m}}\text{Tc}$



## Stosowane otwarte źródło promieniotwórcze



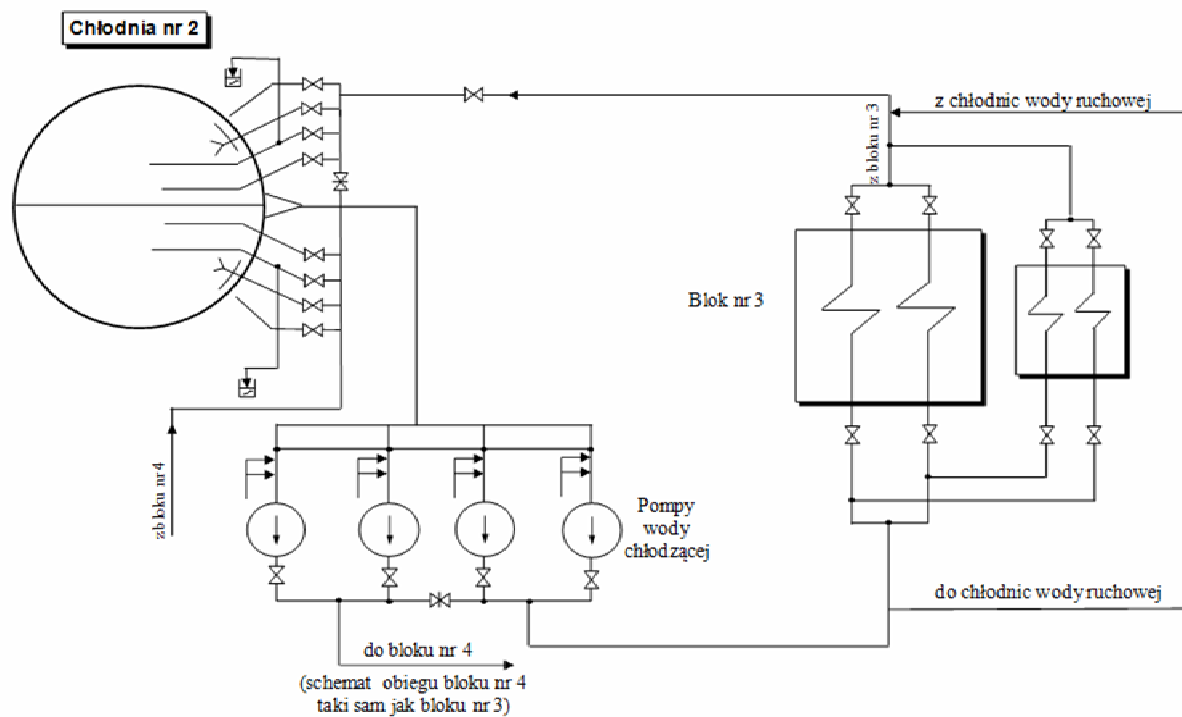
Technet  $Tc-99^m$  z generatora technetowego  $Mo-99$  /  $Tc-99^m$  o aktywności 15 GBq w postaci roztworu wodnego nadtechnecjanu sodowego.

### Charakterystyka jądrowa izotopu $Tc-99^m$ :

- energia promiowania gamma - 140 keV
- okres półrozpadu - 6 02 h
- graniczna wartość aktywności  $a_k$  całkowitej -  $10^7$  Bq
- graniczna wartość stężenia  $c_k$  stanowiącego podstawę kwalifikacji do kategorii odpadów promieniotwórczych -  $10^2$  kBq/kg



# Wykonanie pomiarów w obiegu wody chłodzącej 2 bloków o mocy 360 MW

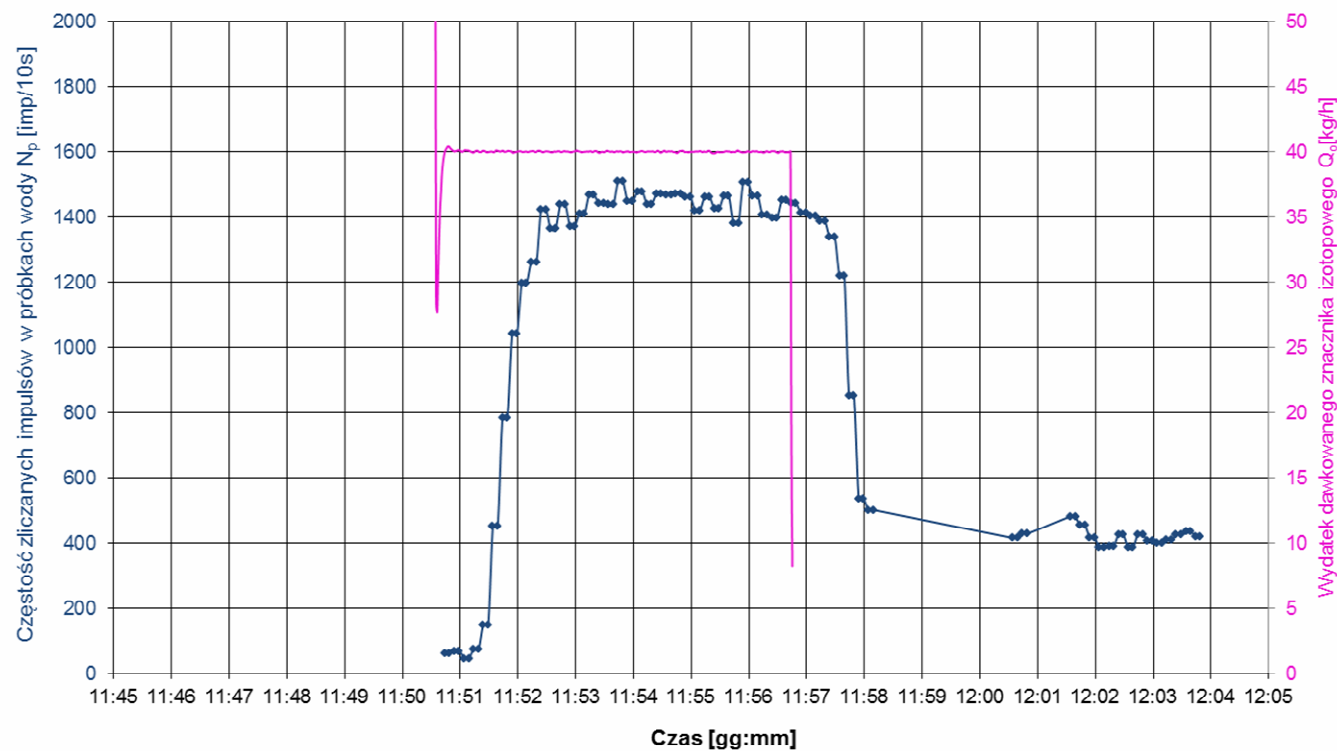


miejsce dawkowania znacznika izotopowego



pobór próbek wody z rozcieńczonym znacznikiem izotopowym

## Zmiany aktywności właściwej znacznika izotopowego w pobieranej próbce wody z obiegu





## Obliczenia natężenia przepływu wody chłodzącej wg normy ISO 2975/III-1976



<b>Wyznaczenie współczynnika rozcieńczenia wzorcowego roztworu izotopowego</b>		
Objętość roztworu znacznika	$v_1$ [ml]	1
Objętość wody do pierwszego rozcieńczenia	$V_1$ [ml]	200
Współczynnik pierwszego rozcieńczenia	$d_1 = (v_1 + V_1) / v_1$	201
Pobrana objętość roztworu z pierwszego rozcieńczenia	$v_2$ [ml]	1
Objętość wody do drugiego rozcieńczenia	$V_2$ [ml]	3 500
Współczynnik drugiego rozcieńczenia	$d_2 = (v_2 + V_2) / v_2$	3 501
Całkowity współczynnik rozcieńczenia	$D = d_1 \cdot d_2$	703 701
Niepewność pomiarowa współczynnika rozcieńczenia	$u(D)$	1 073
Niepewność pomiarowa współczynnika rozcieńczenia w %	$u(D\%)$	0,15%
<b>Pomiar aktywności wzorcowego roztworu izotopowego</b>		
Aktywność wzorcowego roztworu izotopowego	$N_{sr_{wz}}$ [imp./10s]	2 063,4
Liczba pomiarów	$n_{wz}$	248
Niepewność pomiarowa roztworu wzorcowego	$u(N_{sr_{wz}})$	4,2
Niepewność pomiarowa roztworu wzorcowego w %	$u(N_{sr\%})$	0,21%

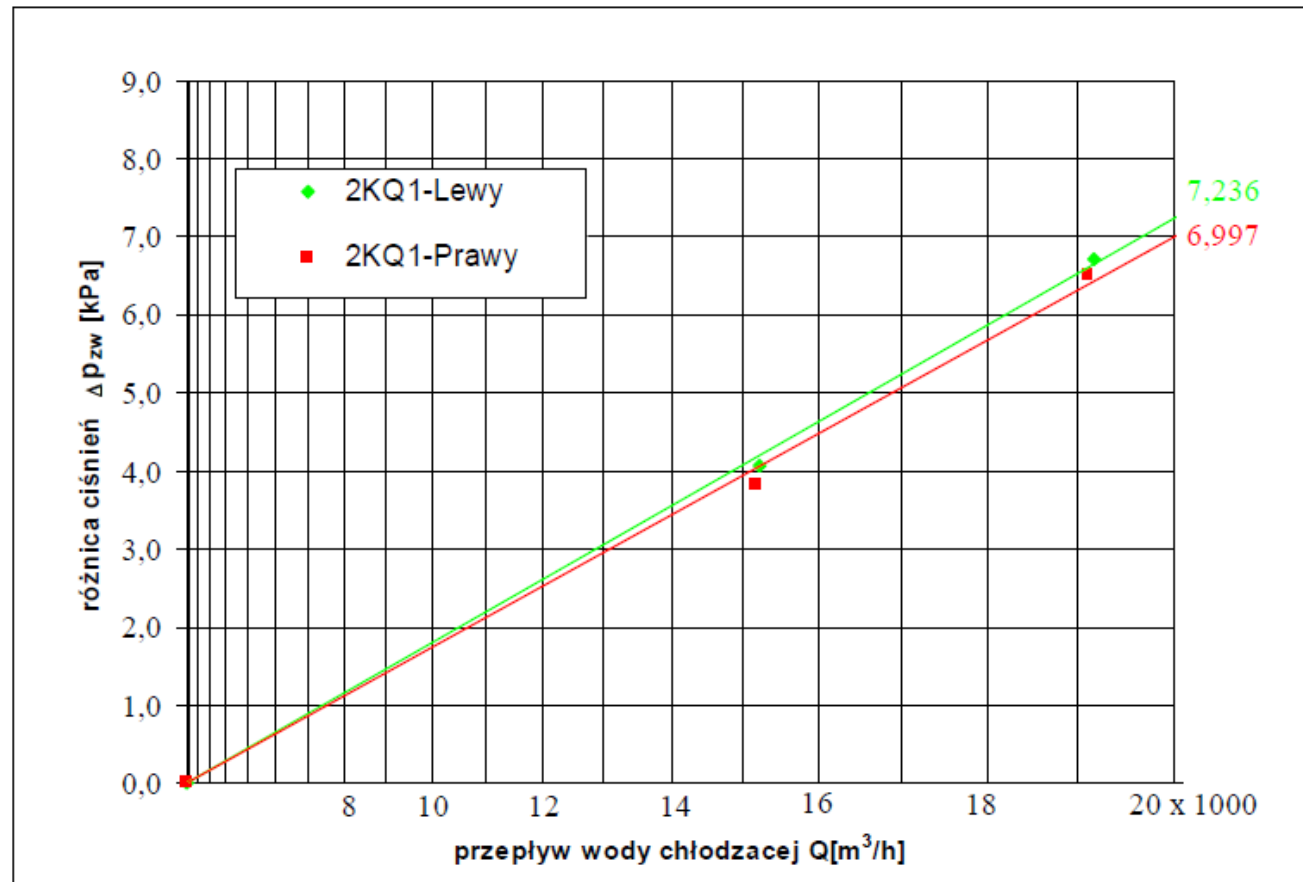
## Obliczenia natężenia przepływu wody chłodzącej wg normy ISO 2975/III-1976 c.d.



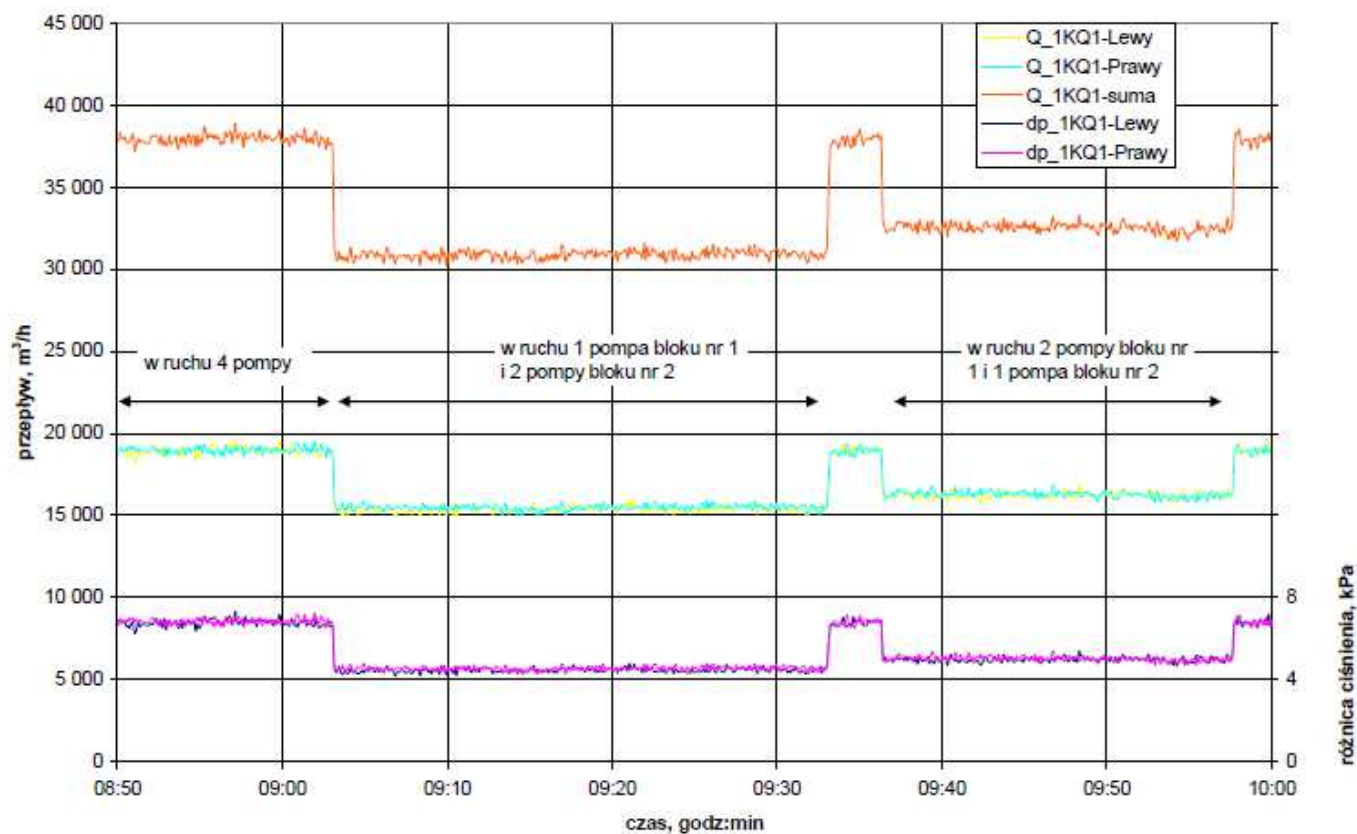
<i>Pomiar wydatku dawkowanego znacznika izotopowego</i>		
Wydatek dawkowanego znacznika izotopowego	$Q_0$ [l/h]	40,00
Niepewność pomiarowa dawkowania	$u(Q_0)$ [l/h]	0,18
Niepewność pomiarowa dawkowania w %	$u(Q_{0\%})$	0,44%
<i>Pomiar aktywności znacznika izotopowego po całkowitym wymieszaniu</i>		
Aktywność znacznika izotopowego	$N\dot{s}_{pr}$ [imp./10s]	1 391,5
Liczba pomiarów	$n_{pr}$	200
Niepewność pomiarowa próbki	$u(N\dot{s}_{pr})$	4,1
Niepewność pomiarowa próbki w %	$u(N\dot{s}_{\%})$	0,29%
<i>Wyniki obliczeń (dla poziomu ufności 95%)</i>		
Strumień	$Q$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>41 740</b>
Całkowita niepewność pomiarowa strumienia	$u(Q)$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>476</b>
Całkowita niepewność pomiarowa strumienia w %	$u(Q_{\%})$	<b>1,14%</b>



## Charakterystyka przepływowa „zwężki kolanowej”



## Pomiary natężenia przepływu wody cechowaną „zwężka kolanowa „ w eksploatacyjnych warunkach pracy







## Przebieg pracy z punktu widzenia ochrony radiologicznej



- transport generatora technetu na miejsce wykonywania pracy, specjalnie wyposażonym do tego celu samochodem dopuszczonym do przewozu materiałów niebezpiecznych,
- przeprowadzenie elucji generatora dla uzyskania porcji eluatu zawierającego technet  $Tc-99^m$
- iniekowanie roztworu znacznika izotopowego do rurociągu w układzie wody chłodzącej,
- pomiar aktywności próbek roztworu wzorcowego odniesienia i próbek wody pobranej z obiegu chłodzącego.

## Sumaryczna wielkość dawek promieniowania dla pracowników



Pracownik	Zakres czynności	Dawki za okres	
		Jednego dnia pracy H[mSv]	Tygodnia pracy H[mSv]
1	Elucja generatora izotopowego	0.04	0.20
2.	Przygotowanie roztworu znacznika izotopowego	0.0012	0.0060
3.	Iniekcja roztworu	0.0103	0.0515
4.	Rozcieńczanie próbek roztworu znacznika	0.003	0.015

Dawki tygodniowe nie przekraczają dawki granicznej 0.4 mSv dla pracowników zatrudnionych do pracy w narażeniu na promieniowanie jonizujące



## Narażenia osób z ludności podczas prac z otwartym źródłem



Bezpośrednie miejsce pracy z otwartym źródłem jest oznakowane jako teren nadzorowany o promieniu kilku metrów od miejsca układu iniekcyjnego. Lokalizacja miejsca pracy z otwartym źródłem promieniotwórczym wyklucza możliwość narażenia osób z ludności (pracowników zewnętrznych elektrowni).



## Analiza skażenia wody w układzie chłodzącym przy wykorzystaniu źródła otwartego do pomiarów



Stężenie promieniotwórcze technetu w wodzie po rozcieńczeniu jest rzędu **1 kBq/kg**, czyli znacznie **mniej** od wartości stężenia promieniotwórczego stanowiącego podstawę kwalifikacji do kategorii odpadów promieniotwórczych, która dla izotopu Tc- 99<sup>m</sup> wynosi **10<sup>2</sup> kBq/kg**. Po upływie 24 h (czyli po następnym dniu pracy z otwartym źródłem promieniowania w terenie) stężenie technetu w wodzie ze względu na półrozpad ulega około 16 krotnemu zmniejszeniu.



## Wymagane dokumenty przy pracy z otwartym źródłem promieniotwórczym w terenie



- Technologiczna instrukcja pracy z otwartym źródłem promieniotwórczym w terenie,
- Pozytywna opinia właściwego Państwowego Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego technologicznej instrukcji pracy,
- Zezwolenie Prezesa PAA na prowadzenie prac z zastosowaniem otwartego źródła promieniotwórczego w terenie,
- Pisemna zgoda administratora terenu na wykonywanie prac na jego terenie z otwartym źródłem promieniowania,
- Zawiadomienie właściwego Państwowego Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego o terminie i miejscu wykonywania prac z otwartym źródłem promieniotwórczym
- Program ochrony przed promieniowaniem jonizującym w transporcie materiałów promieniotwórczych,
- Plan postępowania awaryjnego.

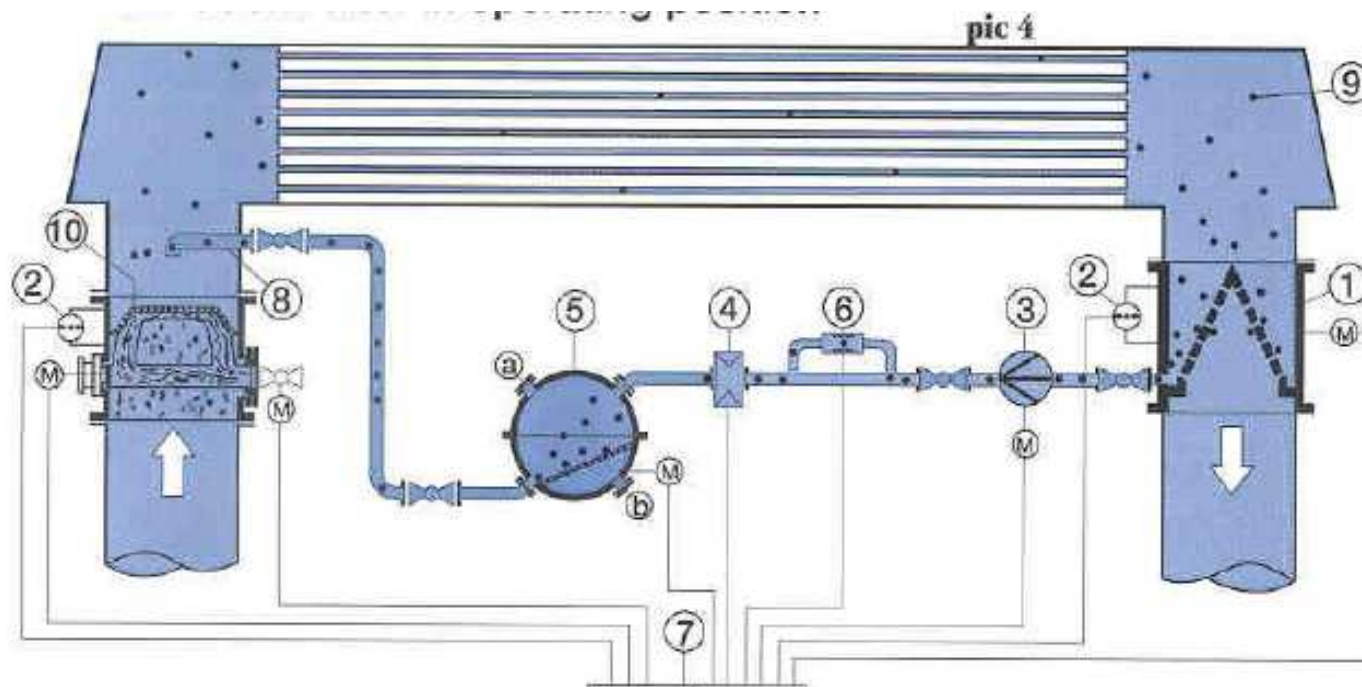


## Podsumowanie



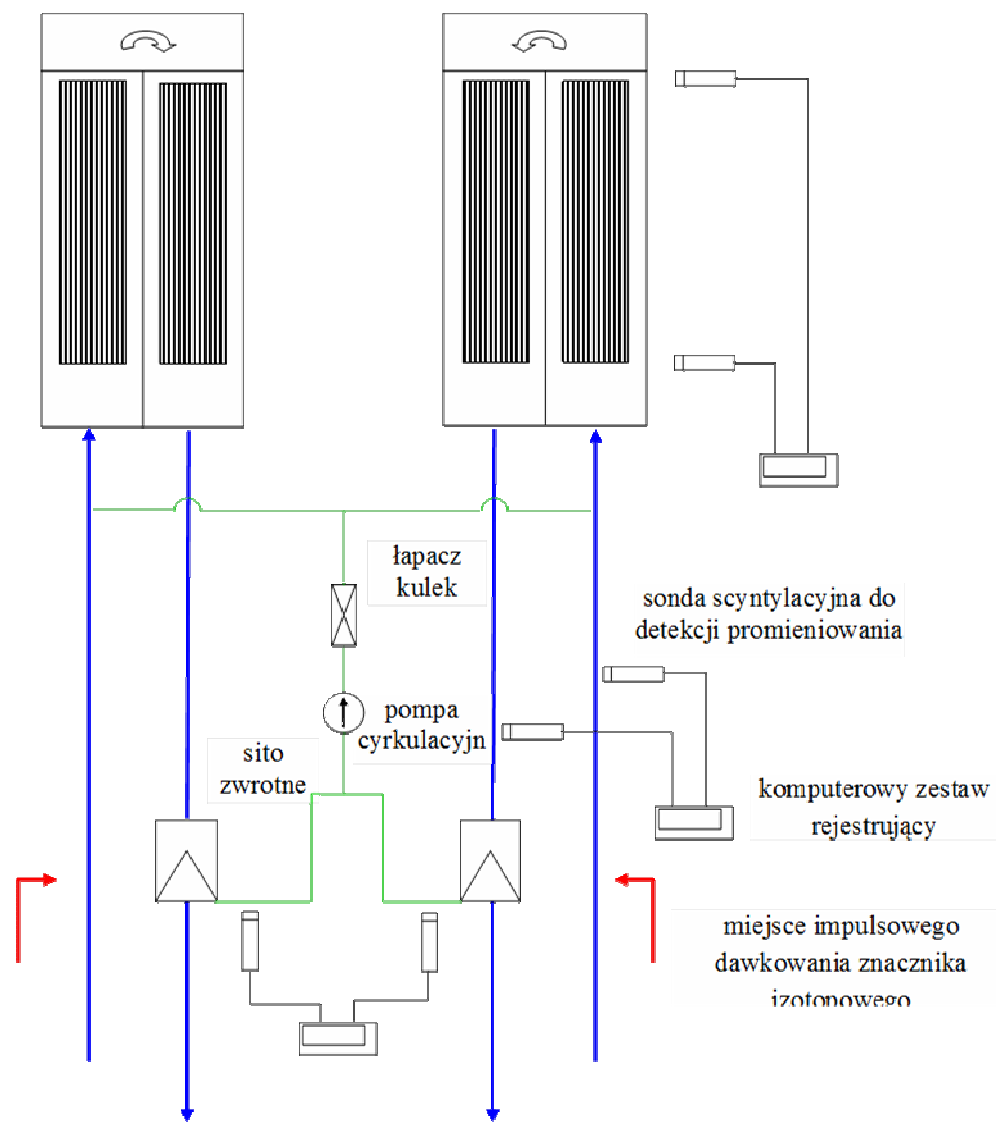
- ❑ Otwarte źródła promieniotwórcze znajdują zastosowanie w pomiarach natężenia przepływu wody w obiegach chłodzących w przypadku częstego braku możliwości zastosowania innych konwencjonalnych metod .
- ❑ Metoda pomiaru natężenia przepływu z użyciem otwartego źródła promieniowania jako znacznika wody jest unormowana i charakteryzuje się niepewnością pomiarową 0,5...1,5 %
- ❑ Wykorzystanie do pomiarów otwartego źródła promieniotwórczego w postaci roztworu technetu Tc-99m umożliwia wykonanie prac przy stosunkowo niewielkim zagrożeniu radiacyjnym

## Układ ciągłego czyszczenia rurek skraplacza



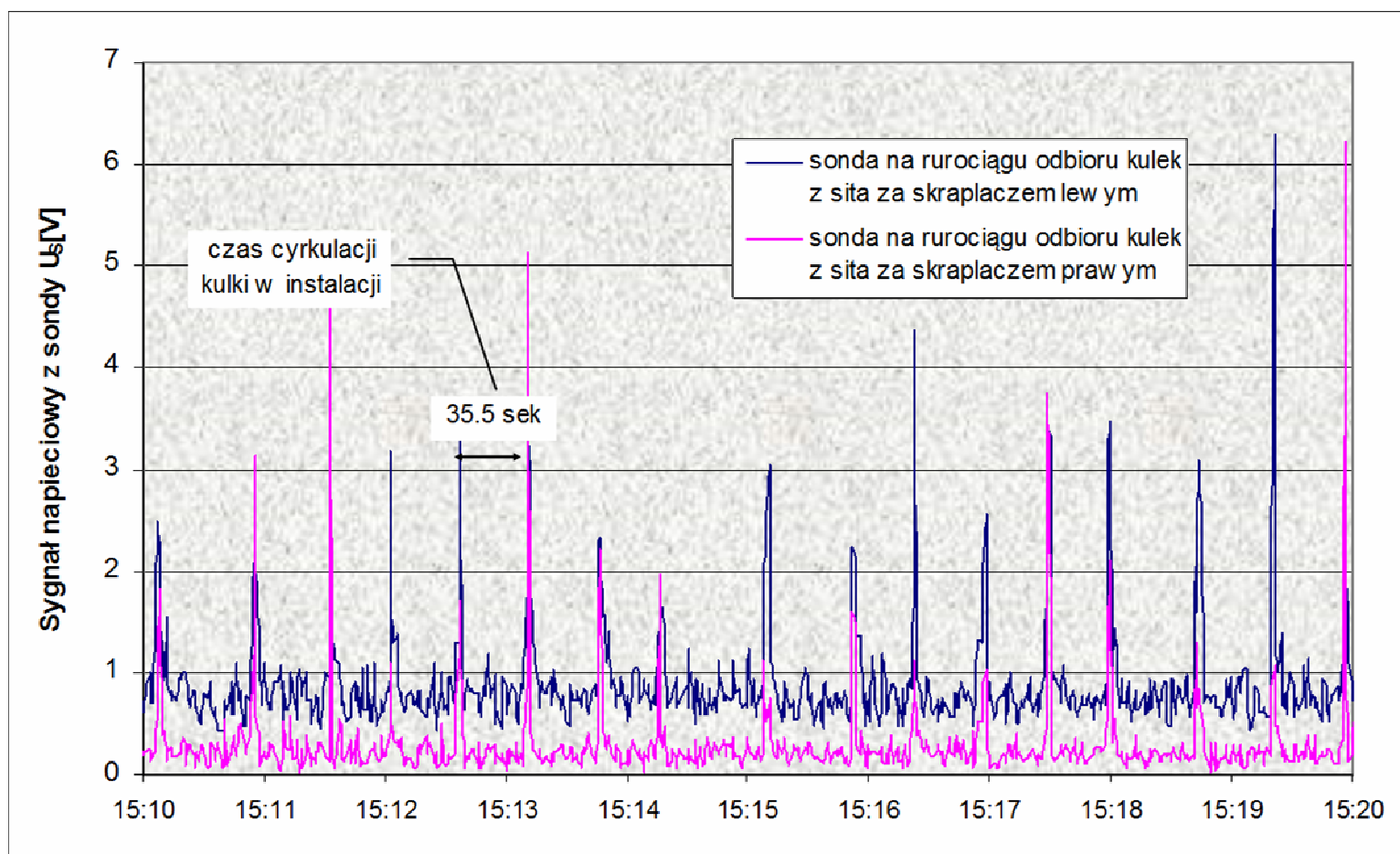
Z materiałów informacyjnych firmy Taprogge

## Diagnostyka układu czyszczenia rurek skraplacza

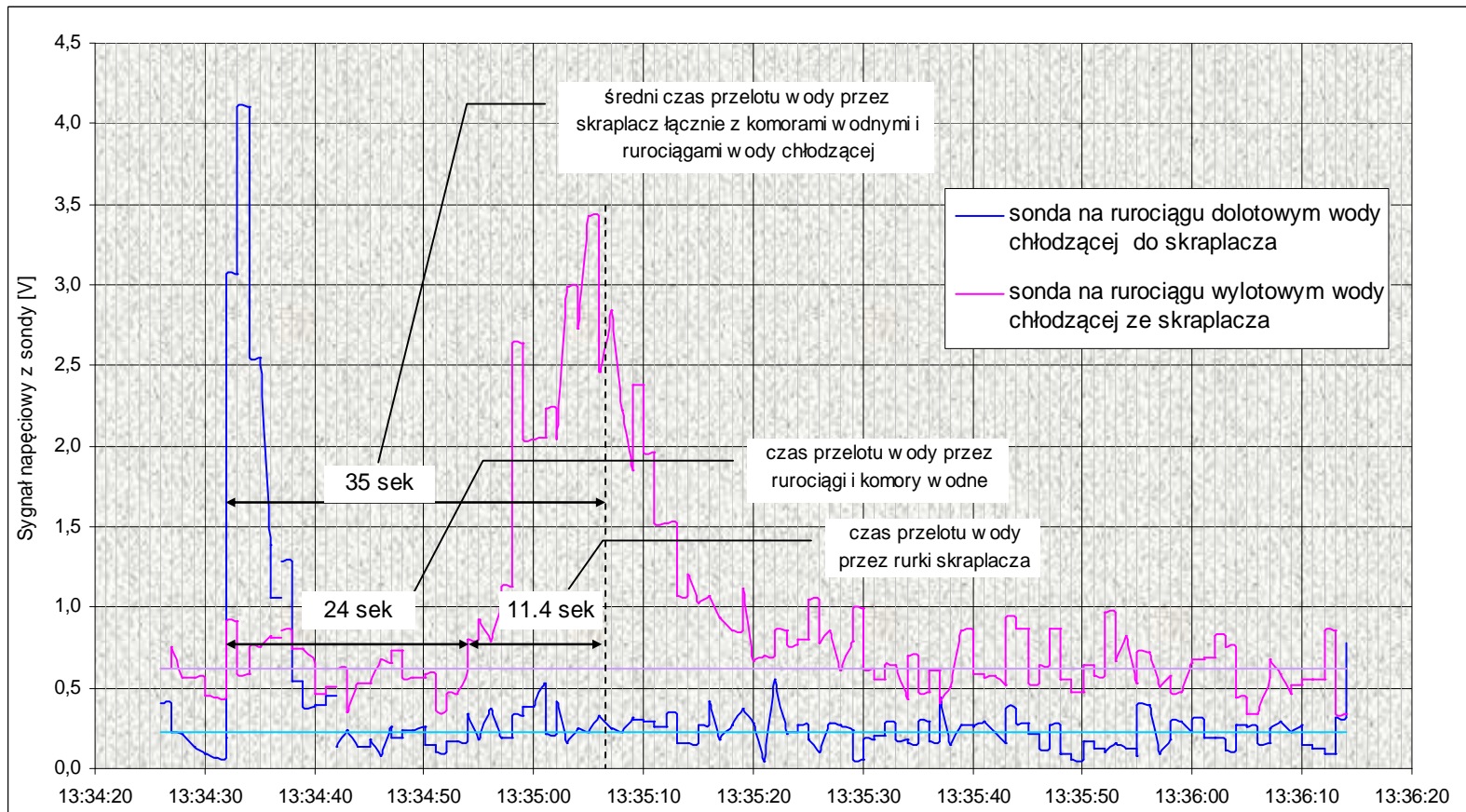




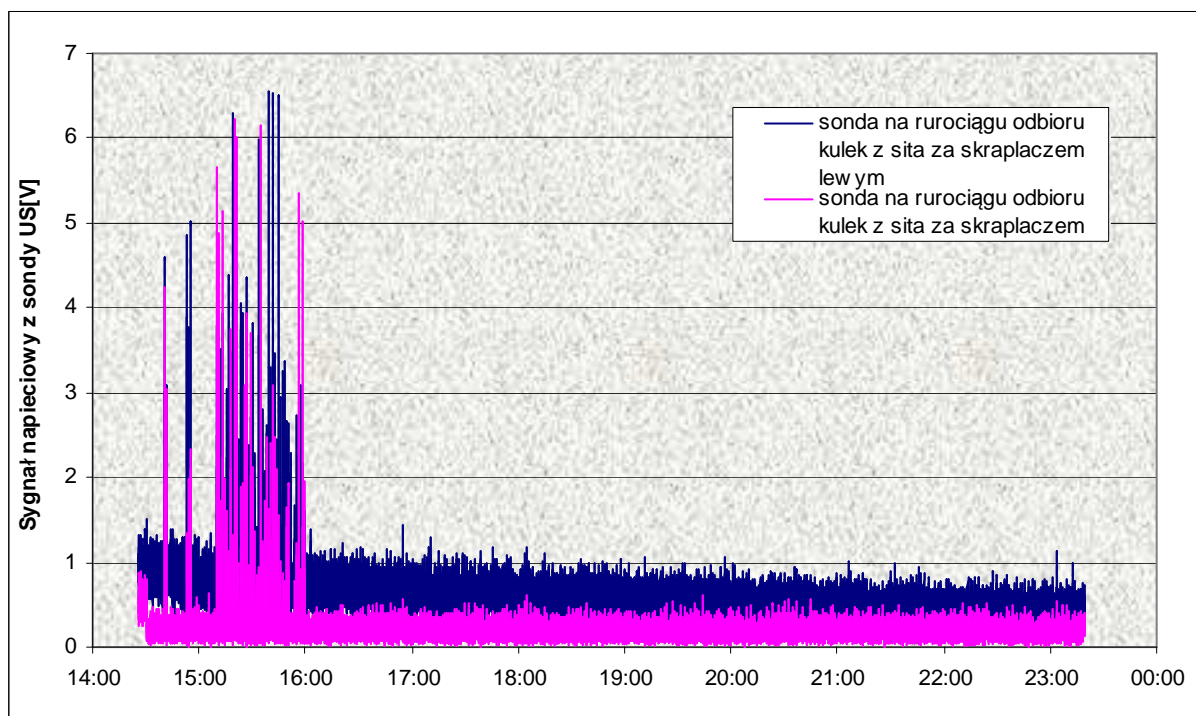
## Pomiary cyrkulacji kulki gąbczastej oznakowanej otwartym źródłem promieniotwórczym



## Pomiary czasu przelotu kulki przez skraplacz



## Pomiary czasu przebywania kulek w instalacji



## Obliczenia parametrów pracy instalacji ciągłego czyszczenia rurek skraplacza

Wielkość	Symbol	Jednostka	Wartość
Średni czas cyrkulacji 1 kulki w instalacji	$t_c$	sek	35,5
Ilość czyszczonych rurek przez jedną kulkę na godzinę	$n_1$	szt / godz	203
Ilość kulek w obiegu	$N_k$	szt	700
Ilość czyszczonych rurek przez $N_k$ kulek na godzinę	$n_k$	szt / godz	141 972
Ilość rurek	$N_r$	szt	14 442
Czas pomiędzy kolejnymi cyklami czyszczenia 1 rurki	$T_{r1}$	min	6
Częstotliwość czyszczenia 1 rurki	$c_1$	1 / godz	<b>10</b>
Zalecana częstotliwość czyszczenia 1 rurki wg danych Taprogge	$c_{1Taprogge}$	1 / godz	<b>12</b>
Ilość kulek w obiegu dla uzyskania zalecanej częstotliwości czyszczenia 12 razy na godzinę	$N_{k12}$	szt	<b>854</b>



**Dziękuję za uwagę**

**Zakłady Pomiarowo – Badawcze Energetyki  
„ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o.  
ul. gen. J. Sowińskiego 3  
44-100 Gliwice**

**Zakład Techniki Ciepłej**

tel. 32 237 63 00

e-mail: [zc@energopomiar.com.pl](mailto:zc@energopomiar.com.pl)