

PRZEMYSŁOWE WDROŻENIE  
OPTOELEKTRONICZNEGO  
SYSTEMU DO MONITOROWANIA  
ZAWARTOŚCI NIE SPALONEGO  
WĘGLA W POPIOŁACH LOTNYCH  
W ELEKTROWNIACH  
SYSTEMOWYCH I EC

Cezary Worek, Henryk Jankowski

Janusz GOŁAŚ<sup>1</sup>, Henryk JANKOWSKI<sup>1</sup>,  
Bogdan NIEWCZAS<sup>2</sup>, Janusz PIECHNA<sup>3</sup>,  
Antoni SKIBA<sup>4</sup>, Stanisław SZCZĘŚNIAK<sup>2</sup>,  
Wojciech SZKUTNIK<sup>4</sup>, Zbigniew SZKUTNIK<sup>1</sup>,  
Ryszarda WARTAK<sup>4</sup>, Cezary WOREK<sup>1</sup>

(1) Akademia Górniczo-Hutnicza

(2) Zakład Aparatury Pomiarowej "Kwant"

(3) Politechnika Warszawska

(4) Elektrociepłownia "Będzin" S.A.

# PLAN

1. Wstęp
2. Pomiar zawartości węgla w popiele optyczną techniką odbicia rozproszonego
  - 2.1. Zasada pomiaru
  - 2.2. Fotometr przemysłowy

### 3. System pomiarowy

3.1. Układ optyczny fotometru

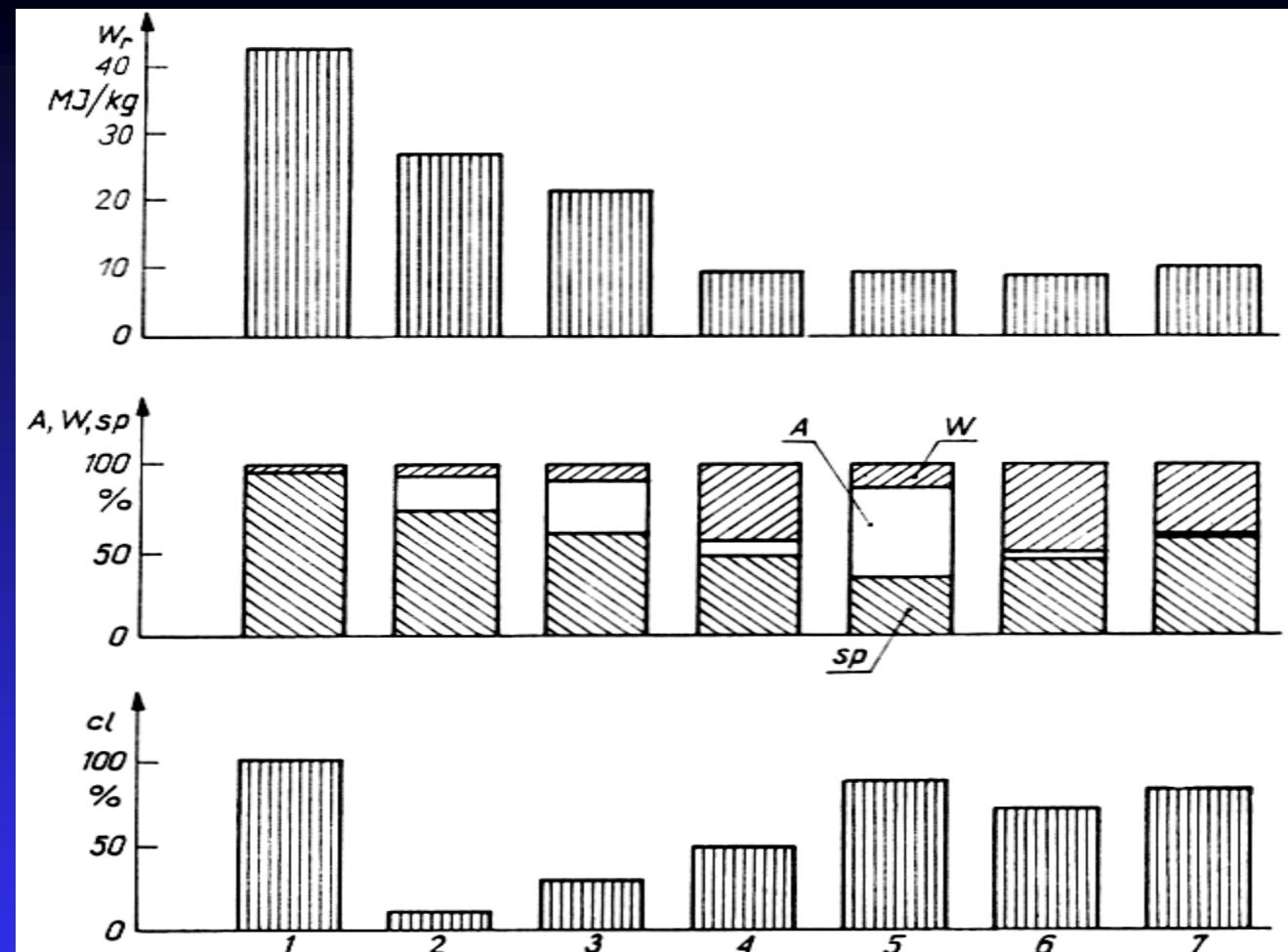
3.2. Optyczna głowica pomiarowa

3.2.1. Zespół optomechaniczny

3.2.2. Układ elektroniczny głowicy  
pomiarowej

3.3.3. Zespół pobierania próbek

4. Ocena pracy układu optoelektronicznego
5. Jednostka nadzorcza analizatora popiołu i oprogramowanie
6. Podsumowanie



A – zawartość popiołu;  $W_r$  – wartość opałowa; w –wilgoć;  
 sp –substancja palna; cl –zawartość części lotnych; 1 – olej  
 opałowy; 2 – antracyt; 3 – węgiel kamienny; 4 – węgiel  
 brunatny; 5 – łupki palne; 6 – torf; 7 - drewno

# "Unburned Carbon from Fly Ash a Hidden Treasure"

J.Y.Hwang, FETC Conference - 1997

## Kontrola pozostałości niespalonego węgla:

- optymalizacja procesu spalania
- wykorzystanie popiołów w gospodarce
  - produkcja cementu i materiałów budowlanych
  - neutralizacja substancji toksycznych

## Pomiary laboratoryjne:

- bezpośrednio, metoda loss-on-ignition/LOI.

## Systemy ciągłego pomiaru:

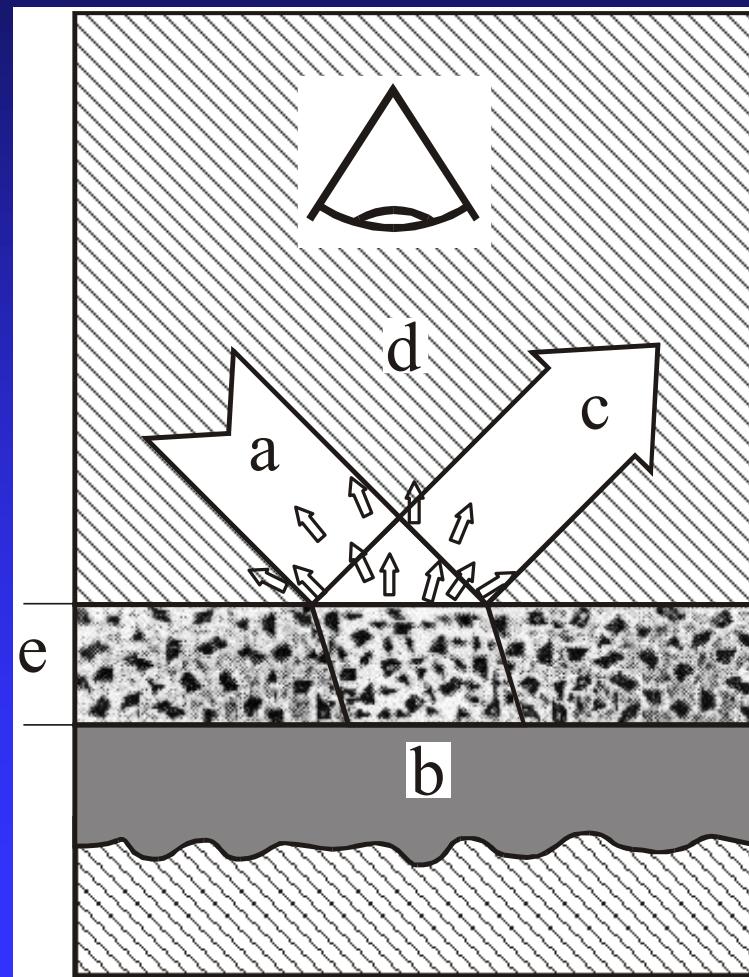
- absorpcja mikrofal
- pomiar pojemności elektrycznej
- emisja w zakresie IR
- optyczna technika odbicia rozproszonego
- analityczne metody fizyki jądrowej i ciała stałego

W pracy przedstawiamy system pomiarowy w którym wykorzystano technikę optycznego odbicia rozproszonego.

# ZASADA POMIARU

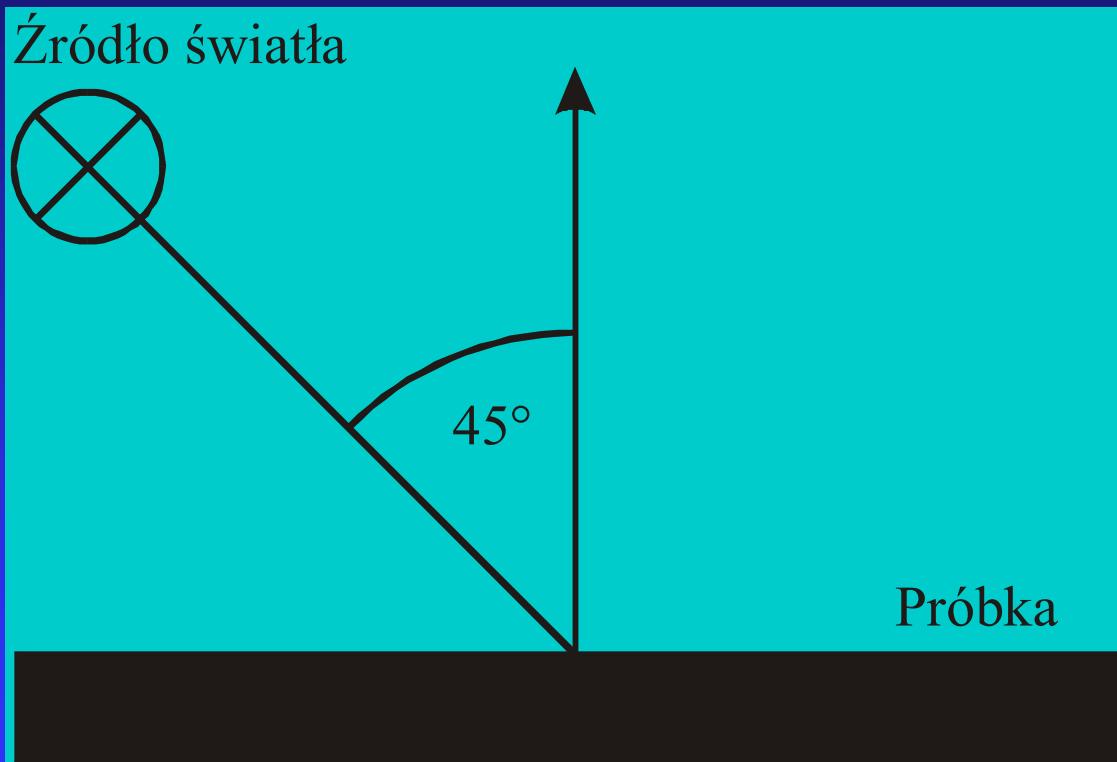
## SPEKTROFOTOMETRIA:

Dla nieprzeźroczystych ciał stałych informacje analityczne uzyskuje się techniką odbicia rozproszonego.

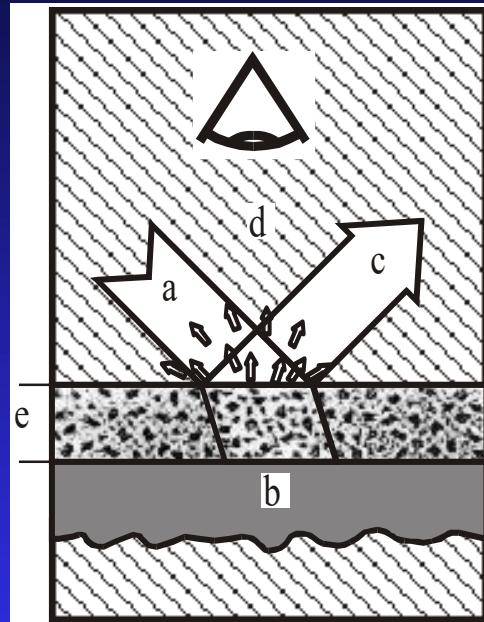


Promieniowanie a padając na powierzchnię próbki może ulec odbiciu zwierciadlanemu c oraz przechodząc w głąb analizowanego materiału po szeregu procesach absorpcji i odbicia ponownie osiągnąć jego powierzchnię, i zostać wypromienowane we wszystkich kierunkach (odbicie rozproszone d).

Rozproszone światło kierowane jest do odpowiednio usytuowanego detektora.



# ROZPROSZENIE ŚWIATŁA OD SUBSTANCJI NIEJEDNORODNEJ OPTYCZNIE:



Dla modelowej substancji niejednorodnej optycznie (z cząstkami pigmentu), oświetlonej monochromatycznym światłem dyfuzyjnym Kubelka i Munk [\*] podali wyrażenie na albedo H powierzchni próbki.

\*Kubelka P. u. Munk F., Z. techn. Physik 12, 593 (1931).

Albedo H powierzchni próbki, przy założeniu, że próbka jest nieskończonym gruba przyjmuje postać:

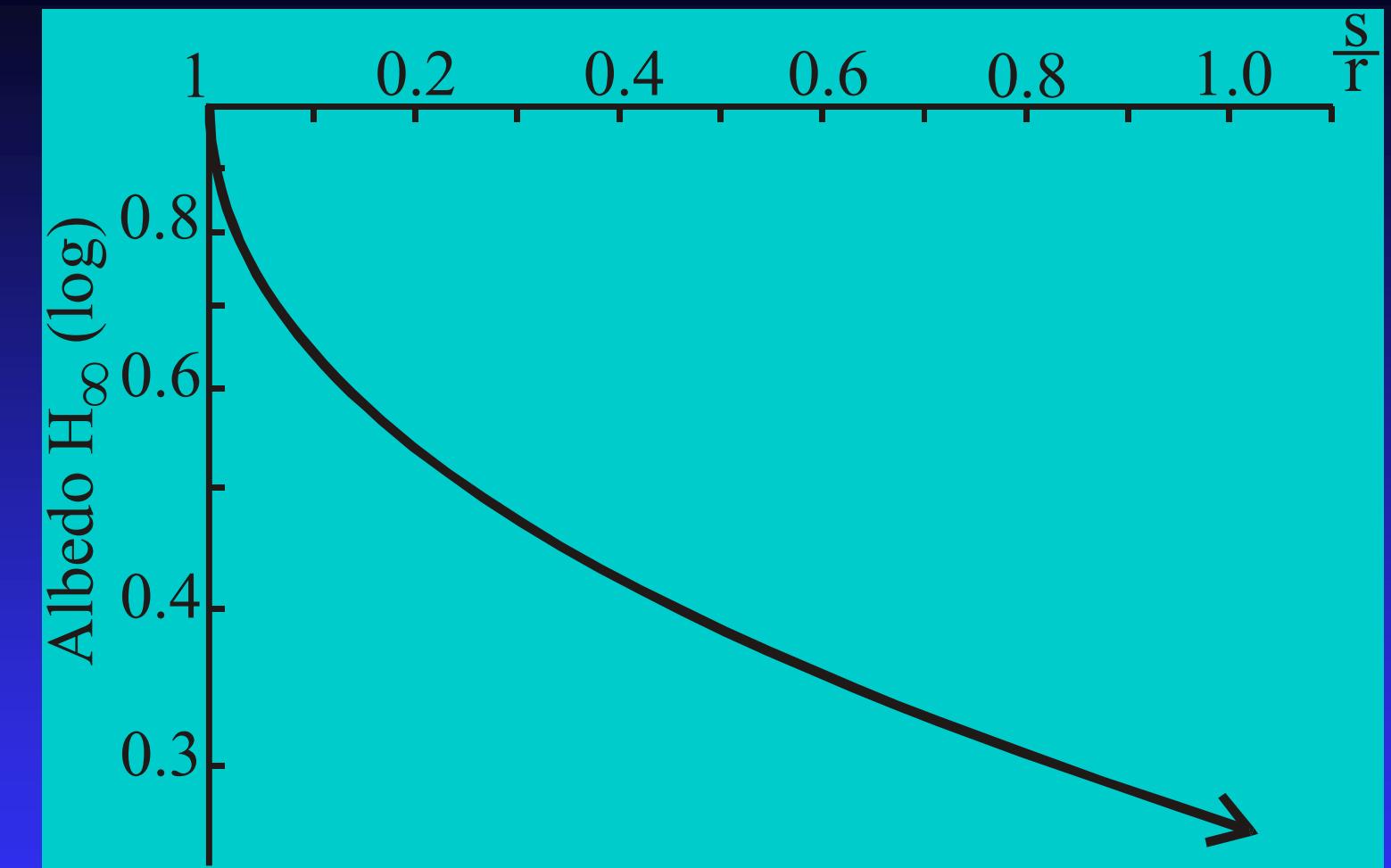
$$H_{\infty} = \frac{J}{I} = 1 + \frac{s}{r} - \sqrt{\frac{s^2}{r^2} + 2 \frac{s}{r}}$$

I - natężenie światła padającego na powierzchnię próbki,

J - natężenie światła ulegającego odbiciu rozproszonemu,

s - stała absorpcji,

r - stała rozpraszania charakterystyczne dla danego materiału.

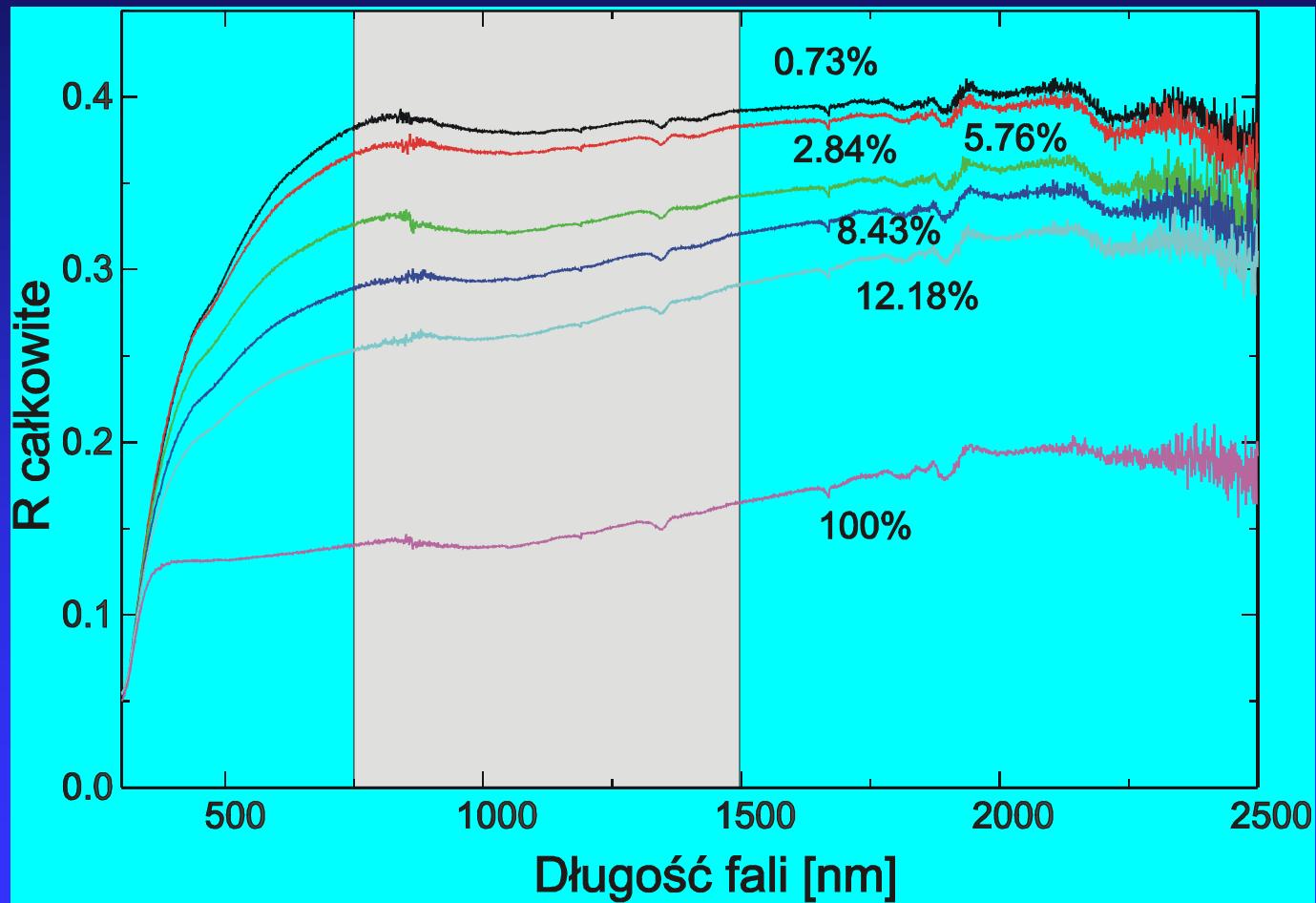


Stosunek s/r odzwierciedla stężenie danej substancji w próbce.

# ZASADA POMIARU

DOBÓR DŁUGOŚCI FALI I  
MONOCHROMATYCZNEGO  
ŽRÓDŁA ŚWIATŁA

Przebieg R(l) całkowitego odbicia światła ( $l:250\text{-}2500$  nm) od próbek popiołu energetycznego dla różnych zawartości

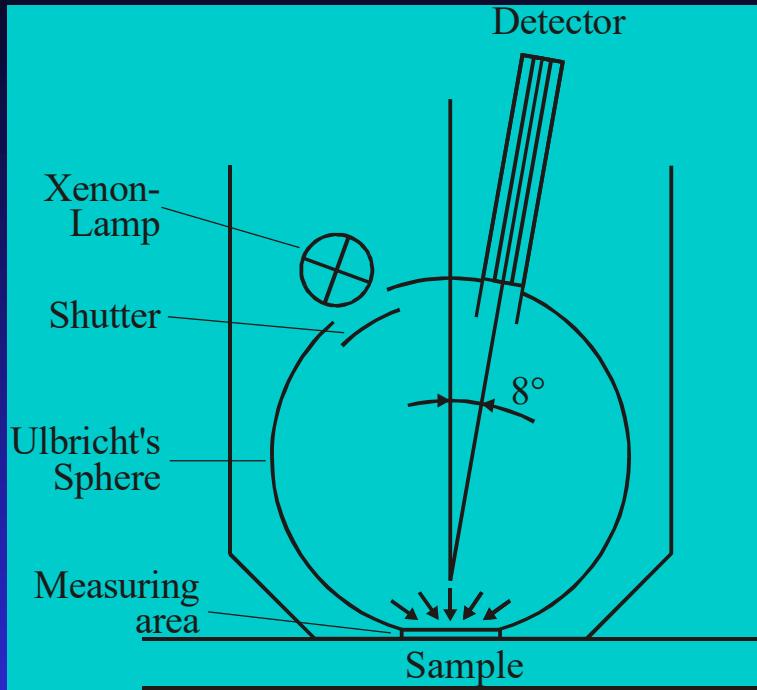


Próbki przygotowano laboratoryjnie.  
Pomiary wykonano spektrometrem L-19 Perkin-Elmer w  
geometrii kuli Ulbrichta ( wzorzec aparatuowy standard  
SRS/HRF ).

Przedział pracy źródła światła : 750-1500nm.  
Szerokie możliwości doboru półprzewodnikowych  
optoelektronicznych emiterów i detektorów światła.

FOTOMETR PRZEMYSŁOWY

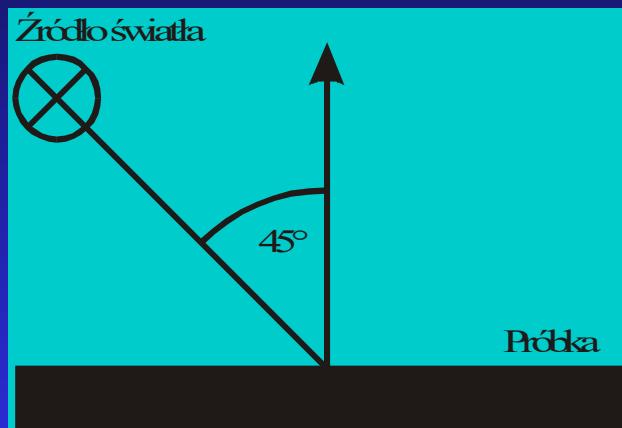
SPEKTROFOTOMETRY  
LABORATORYJNE



Rozbudowane urządzenia analityczne przeznaczone są do pracy w kontrolowanych warunkach zewnętrznych.

Do techniki odbicia rozproszonego stosuje się specjalną geometrię pomiaru (sfery pomiarowe).

# URZĄDZENIE PRZEMYSŁOWE



W urządzeniach instalowanych na linii produkcyjnej dogodnie jest stosować punktowe źródła światła i detektory rozmieszczone w geometrii  $45^\circ$ .

Zasadniczym problemem jest uzyskanie kontaktu optycznego z badaną substancją i zapewnienie stabilnej pracy układów optoelektronicznych.

# SYSTEM POMIAROWY

Przemysłowy system pomiarowy przeznaczony do oznaczania ilości węgla w pyle gazów spalinowych (popiele) zawiera:

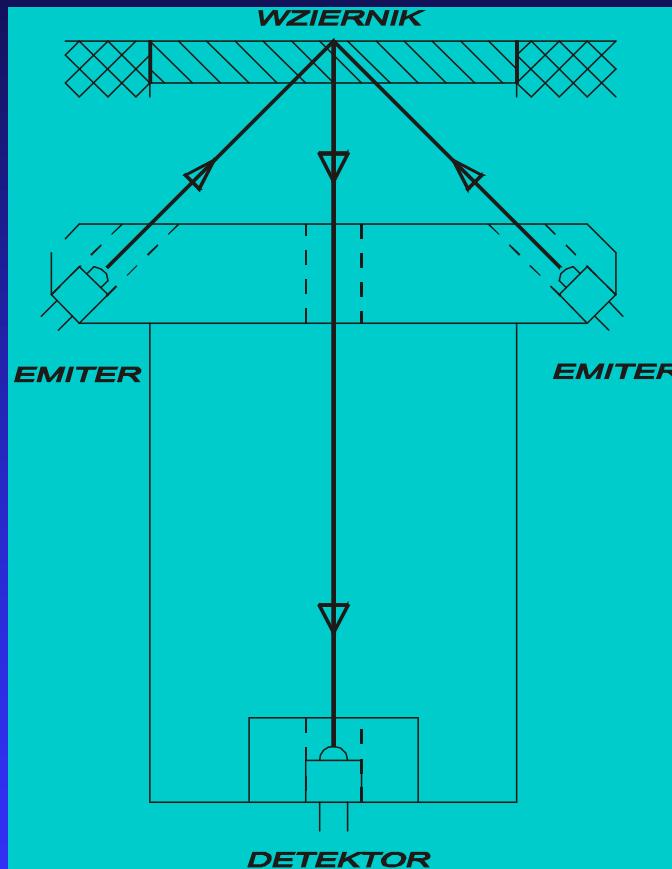
- zespół pomiarów optycznych,
  - układ optyczny fotometru,
  - układ optomechaniczny,
  - układ elektroniczny i podzespoły optoelektroniczne
- zespół pobierania próbek popiołu,
- jednostkę nadzorczej i opracowania danych,
- urządzenia pomocnicze.

Przyjęto założenie, że popiół do badań optycznych będzie skutecznie oddzielany od gazów spalinowych (za pomocą cyklonu) i zbierany w komorze osadczej z płaskim szklanym wziernikiem umożliwiającym kontakt optyczny z układem fotometru głowicy pomiarowej

# UKŁAD Optyczny FOTOMETRU

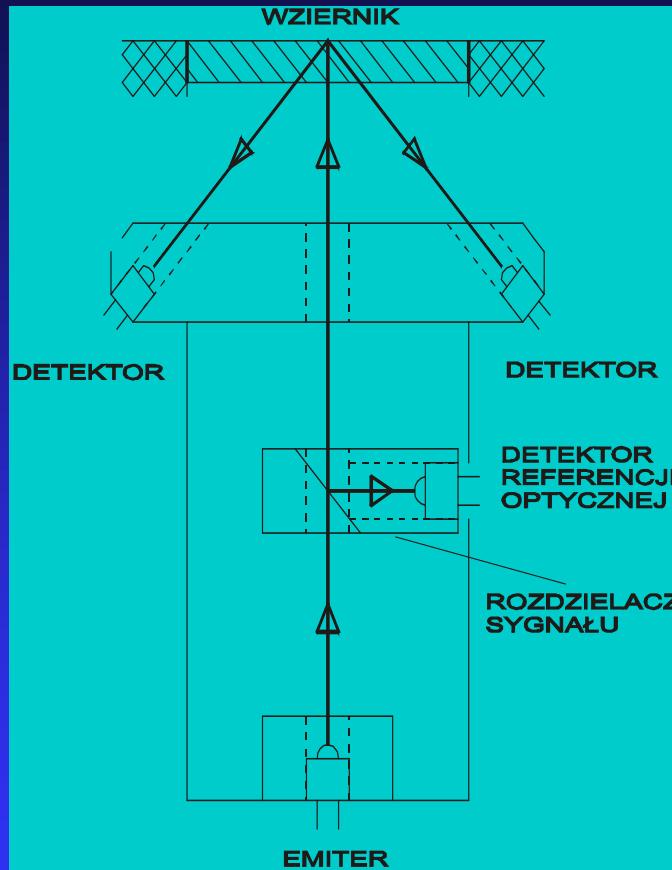
Wykonano i testowano dwie wersje  
układów optycznych fotometru:

W układzie z detektorem umieszczonym  
zenitowo i dwoma emiterami światła



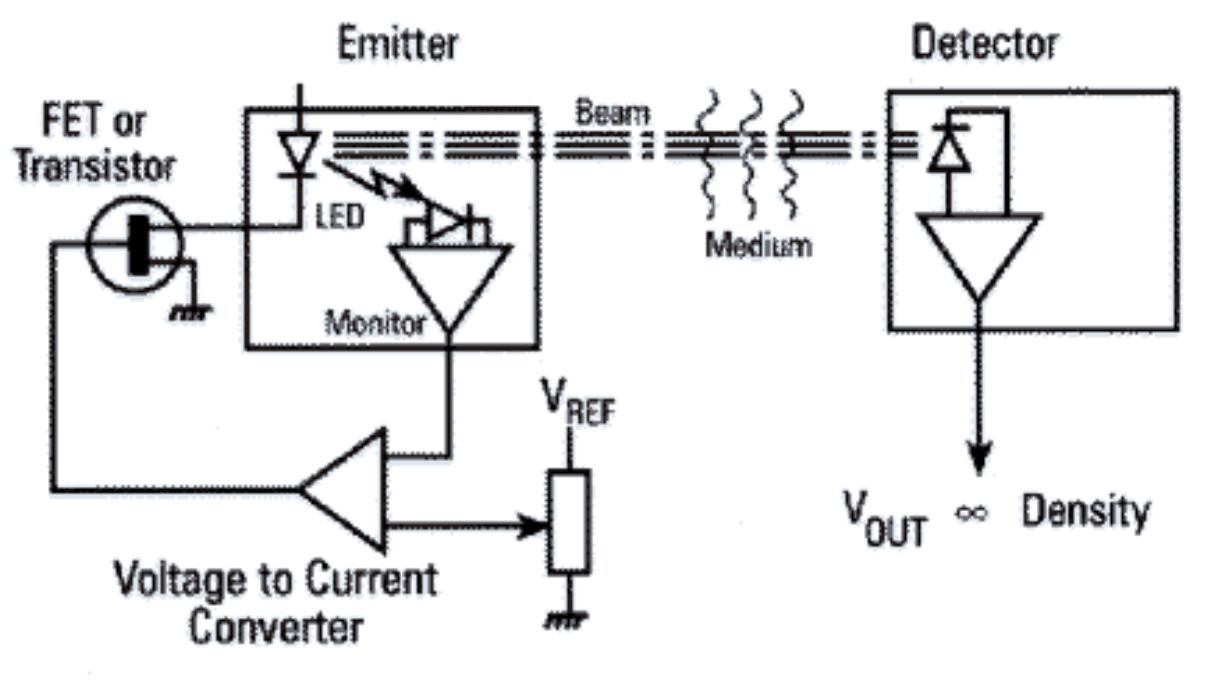
Zenitowa detekcja:referencja optoelektroniczna.

W układzie z emiterem umieszczonym  
zenitowo i czterema detektorami.



Zenitowe oświetlenie: część strumienia światła z emitera  
poprzez dzielik wyprowadzona jest na dodatkowy  
detektor (referencja optyczna).

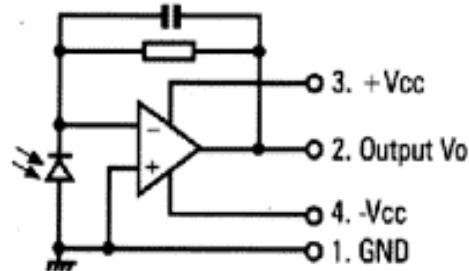
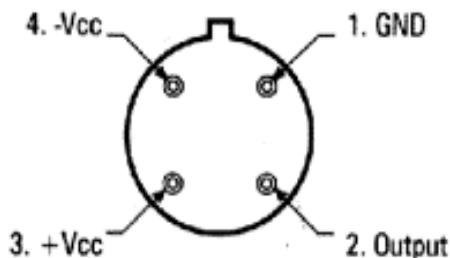
# ZASTOSOWANE EMITERY I DETEKTORY ŚWIATŁA



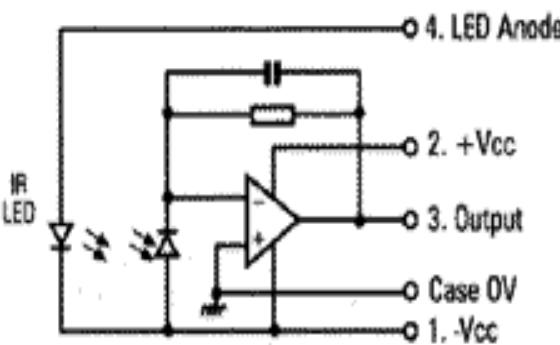
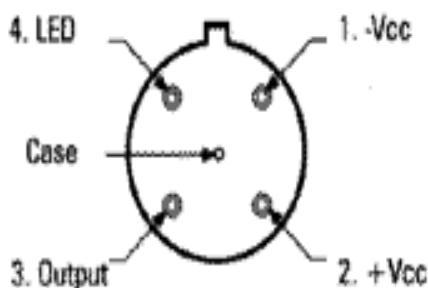
ZINTEGROWANY  
DETEKTOR TYPU  
IPL10530HAL

ZINTEGROWANY  
EMITER TYPU  
IPL10530KAL

# ZASTOSOWANE EMITERY I DETEKTORY ŚWIATŁA

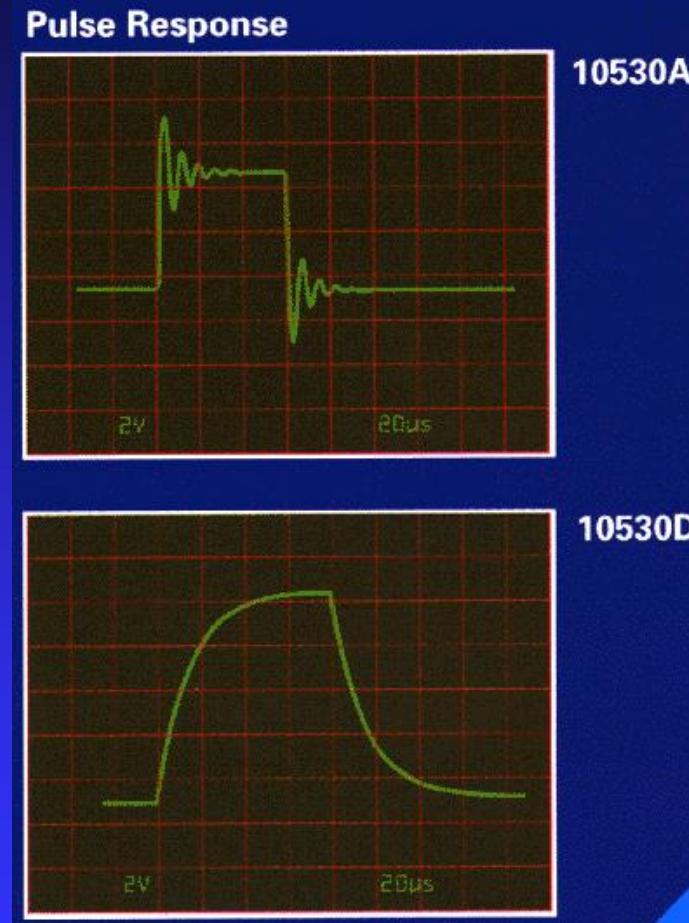
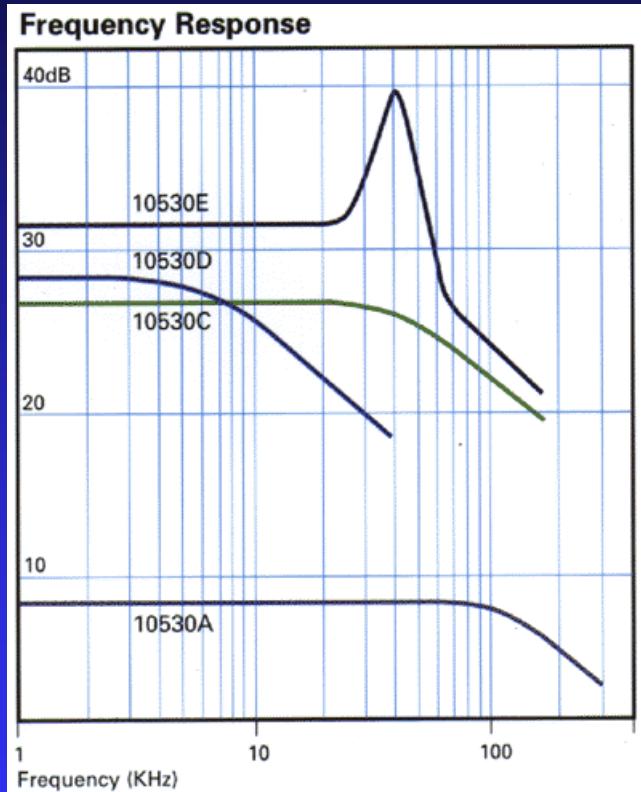


ZINTEGROWANY  
DETEKTOR TYPU  
IPL10530HAL



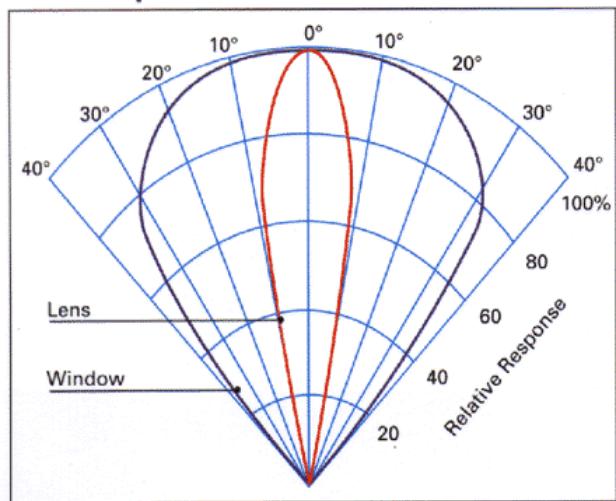
ZINTEGROWANY  
EMITER TYPU  
IPL10530KAL

# ZASTOSOWANE EMITERY I DETEKTORY ŚWIATŁA

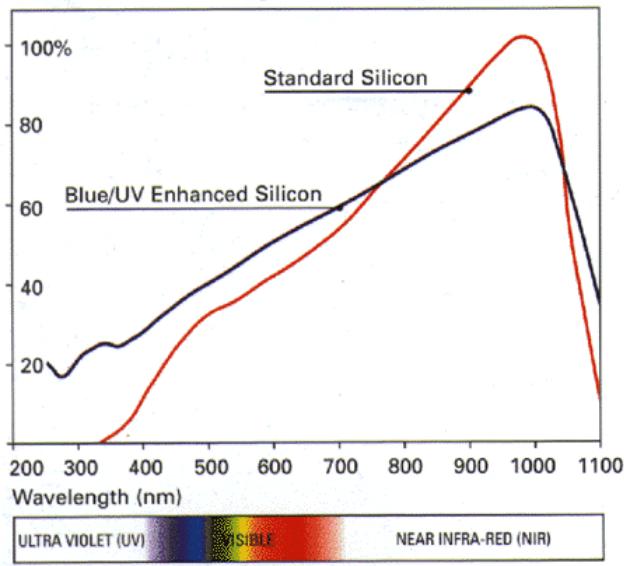


# ZASTOSOWANE EMITERY I DETEKTORY ŚWIATŁA

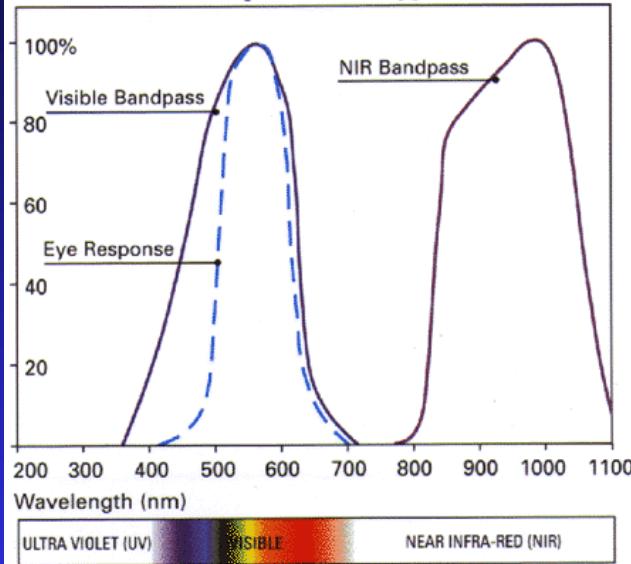
Polar Response



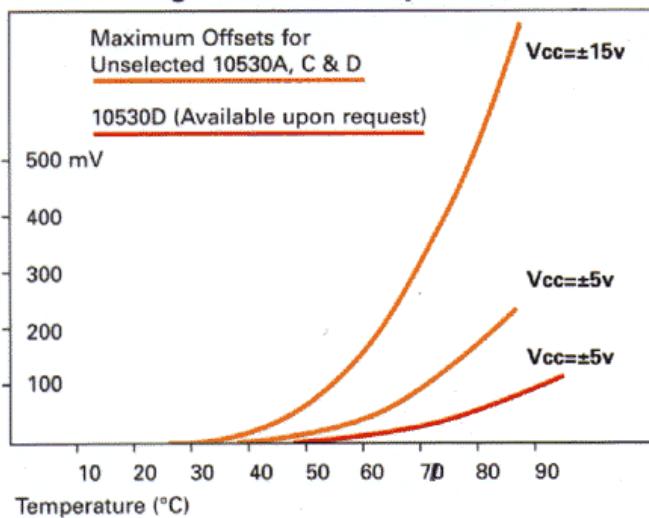
Silicon Relative Spectral Response



Normalised Response of Typical Filters

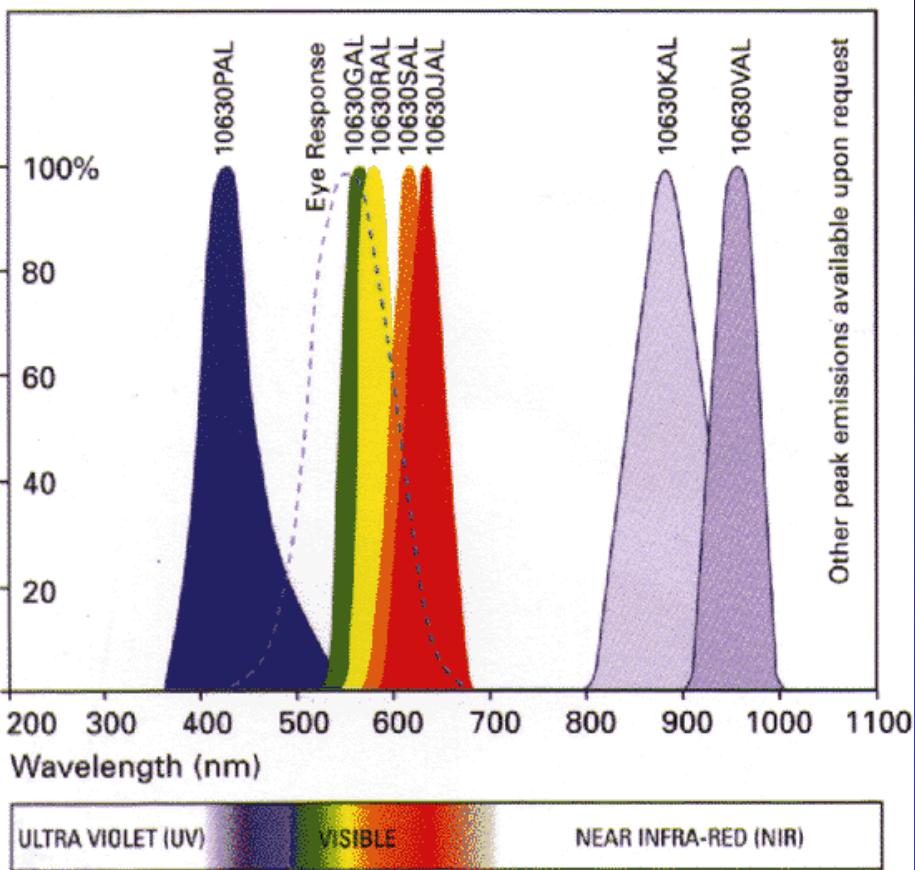


Dark Voltage Offset v Temperature

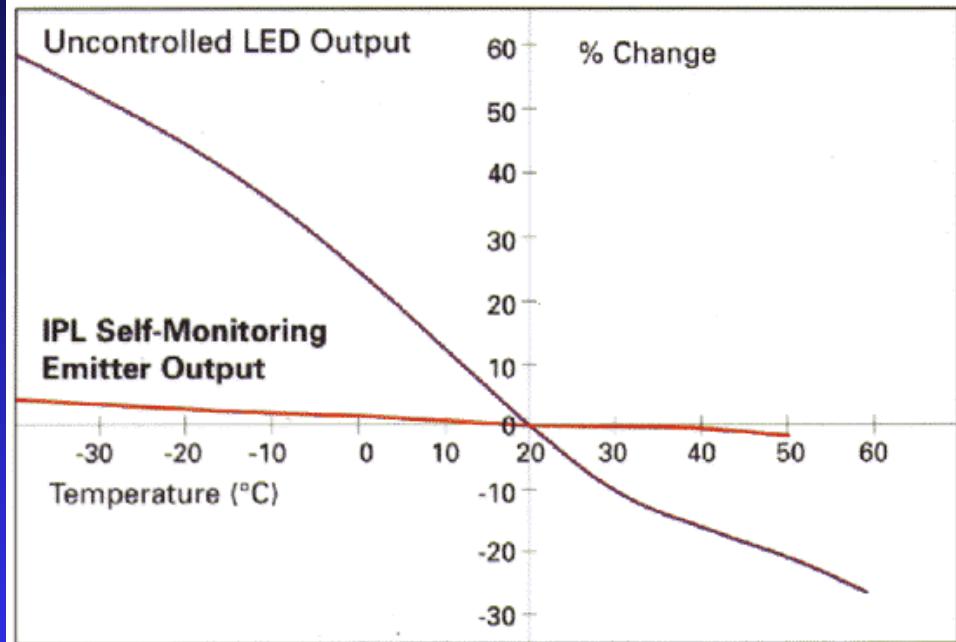


# ZASTOSOWANE EMITERY I DETEKTORY ŚWIATŁA

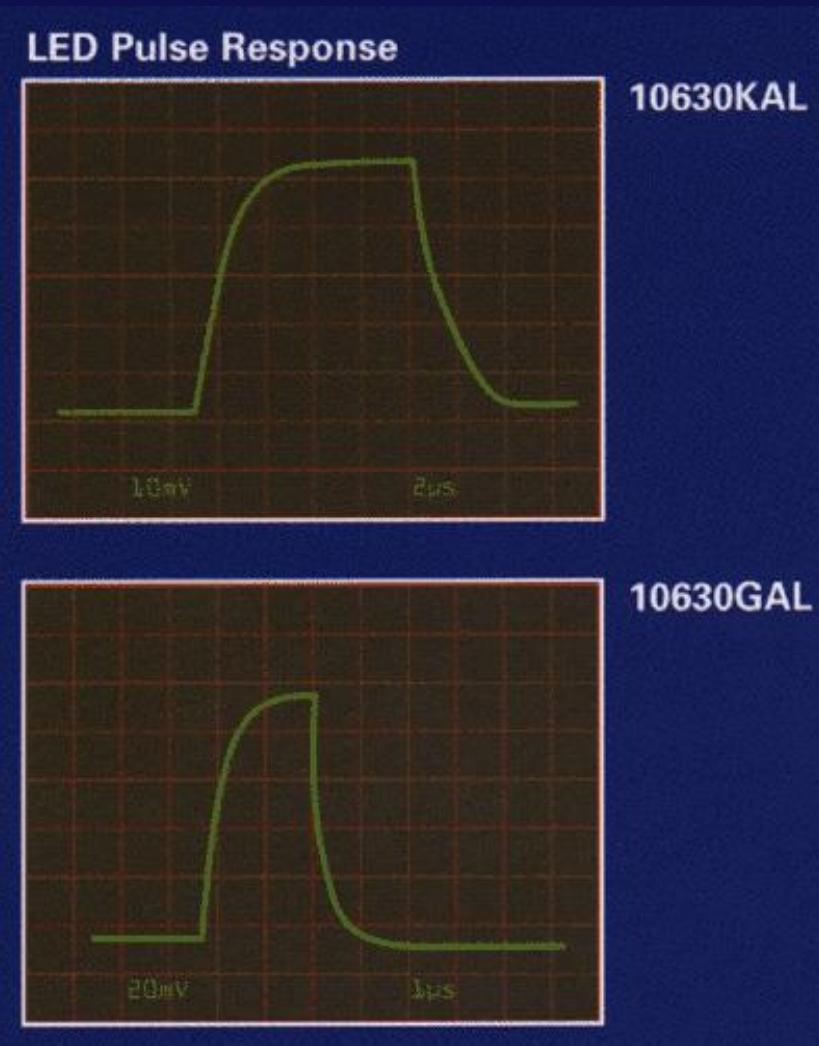
LED Spectra



Temperature Stability



# ZASTOSOWANE EMITERY I DETEKTORY ŚWIATŁA



# ZASTOSOWANE EMITERY I

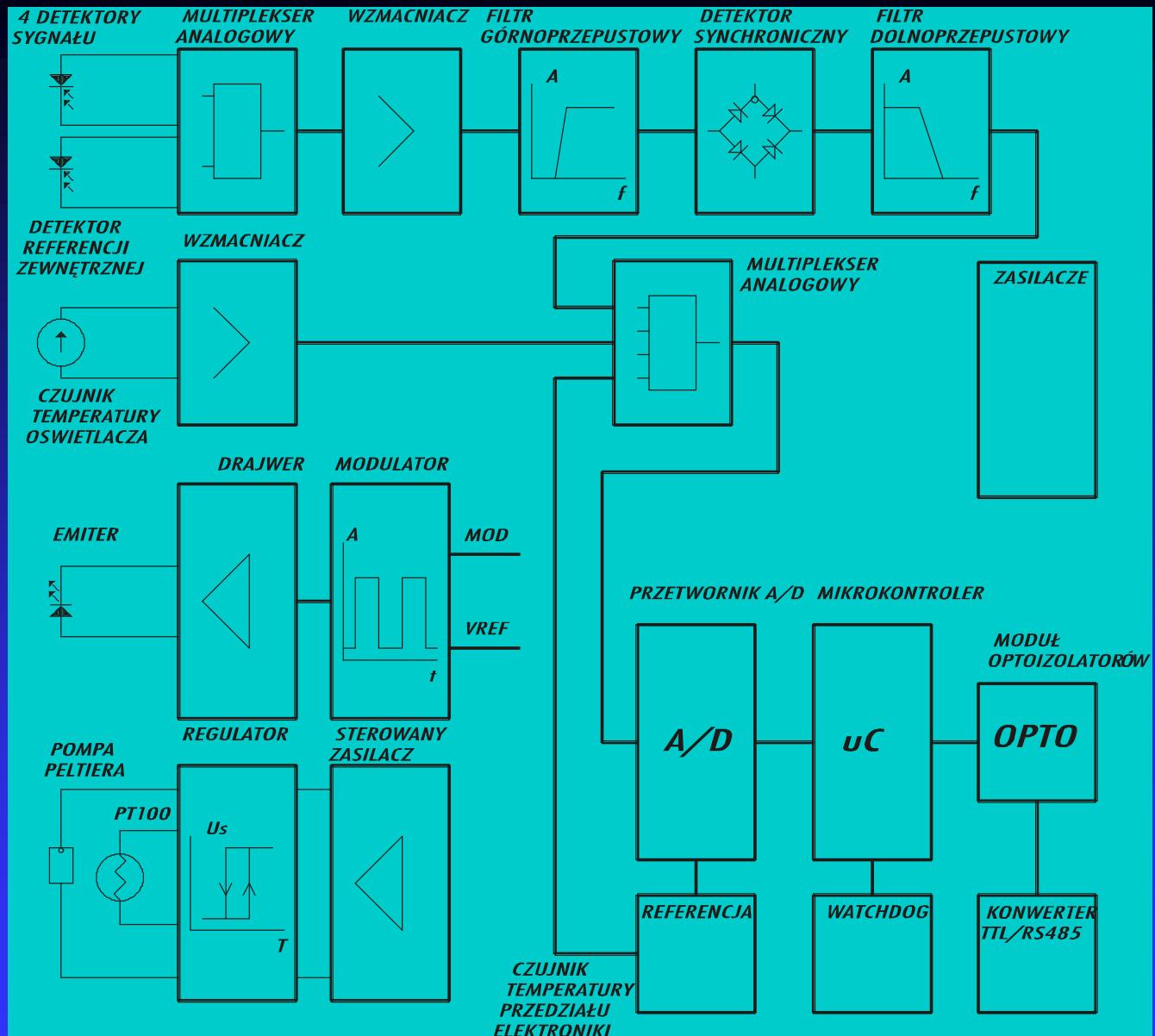
## Typical Characteristics @25°C

(Device types in brackets represent provisional data)

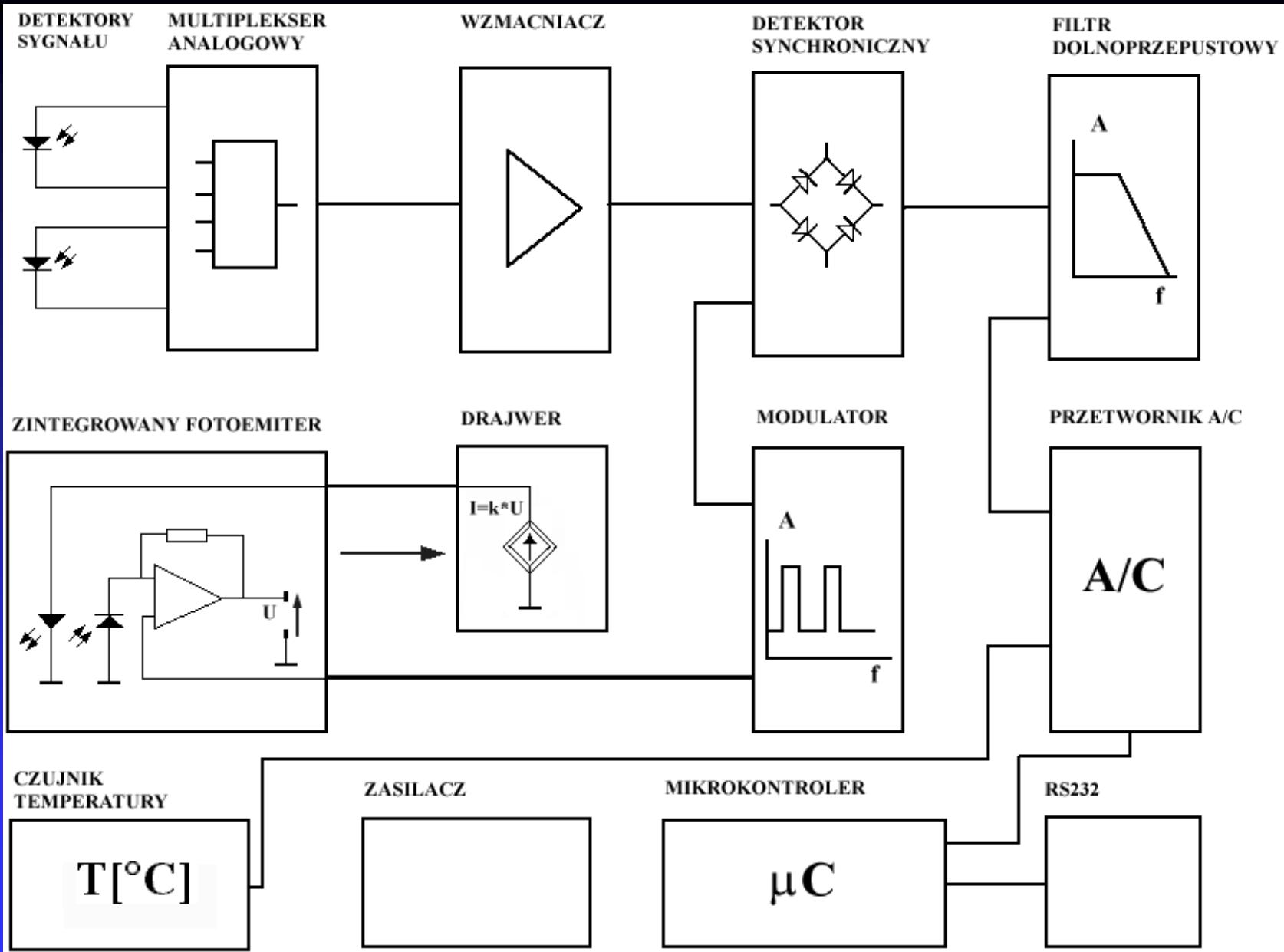
		(BLUE)	GREEN	(YELLOW)	(ORANGE)	RED	INFRA RED	(INFRA-RED)
PARAMETER	UNITS	10630PAL	10630GAL	10630RAL	10630SAL	10630JAL	10630KAL	10630VAL
DC Supply Voltage (Single or Dual) Vcc	V	±2 to ±18	±2 to ±18	±2 to ±18	±2 to ±18	±2 to ±18	±2 to ±18	±2 to ±18
Quiescent Current	mA	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Peak LED Current (MAX)	mA	70 (10% Duty/1kHz)	100	100	100	100	100	100
Continuous LED Current (MAX) (Derate Linearly From +50°C @ 0.5mA/°C)*	mA	20	40	40	40	40	40	40
Forward Voltage (@20mA)	V	3.8	2	2	2	2	1.6	1.6
Luminous Intensity (@20mA)	cd	0.1	1.5	1.0	0.8	2.5	Not Applicable	Not Applicable
LED Irradiance @20mA (100mm Distance)	μW/mm²	0.6	0.25	0.16	0.13	0.40	3	1.5
LED Frequency Response (-3dB Point)	KHz	150	400	420	550	690	180	200
Peak Wavelength	nm	425	565	585	615	635	880	950
Spectral Bandwidth (Full Width Half Maximum)	nm	65	28	36	40	45	80	50
Output Beam Angle (-3dB Points)	Degrees	6	6	6	6	8	8	8
Monitor Output Voltage @15mA LED Current	V	0.5	0.5	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0
Monitor Frequency Response (-3dB Point)	KHz	100	240	300	400	185	1200	1200
Monitor Output Current	Sink	mA	1	1	1	1	1	1
	Source	mA	10	10	10	10	10	10
Short Circuit Output Duration	s	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Temperature Range	Operating	°C	-20 to +80	-20 to +85	-20 to +85	-20 to +85	-20 to +85	-20 to +85
	Storage	°C	-30 to +100	-30 to +100				

\* 10630PAL-Blue, Derate Linearly From +30°C @ 0.5mA/°C

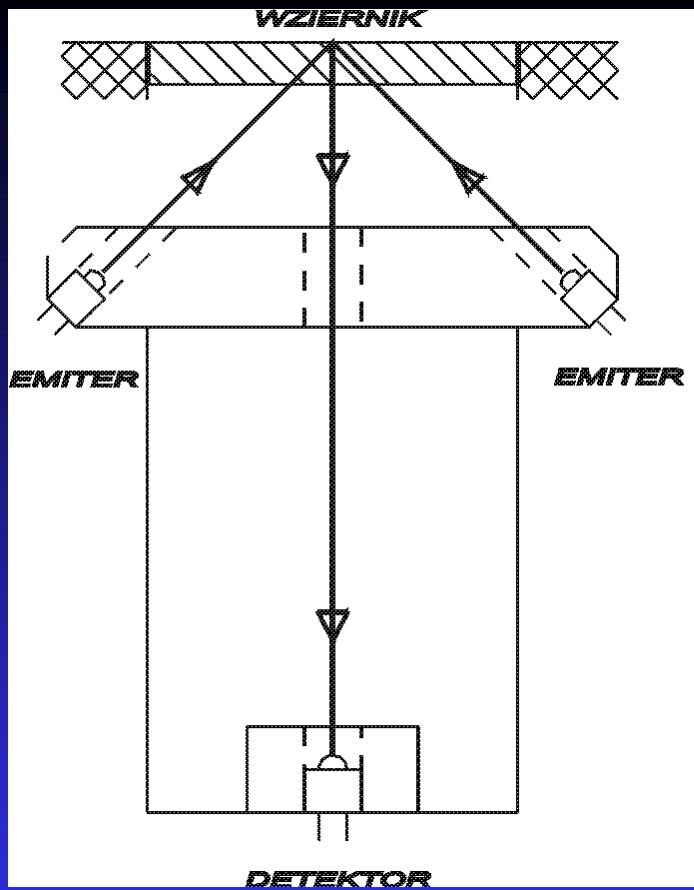
# UKŁAD ELEKTRONICZNY GŁOWICY POMIAROWEJ



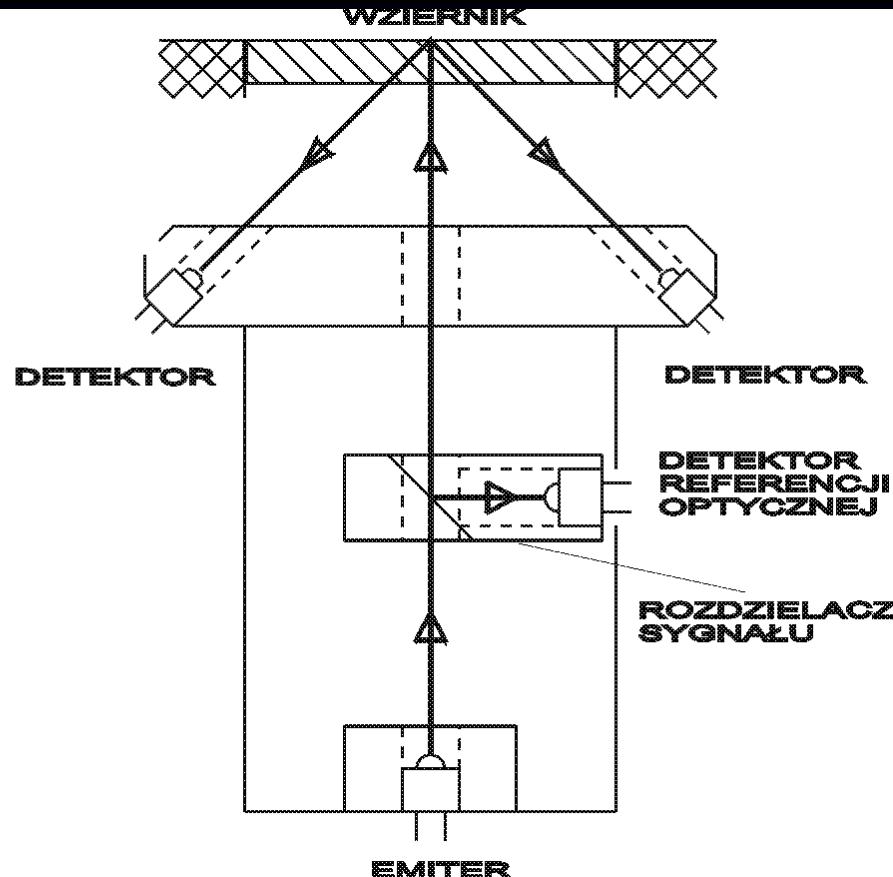
Mikroprocesorowa (AT89C2051) modulacja i detekcja synchroniczna.  
Optoizolowane łącze RS-485/232C



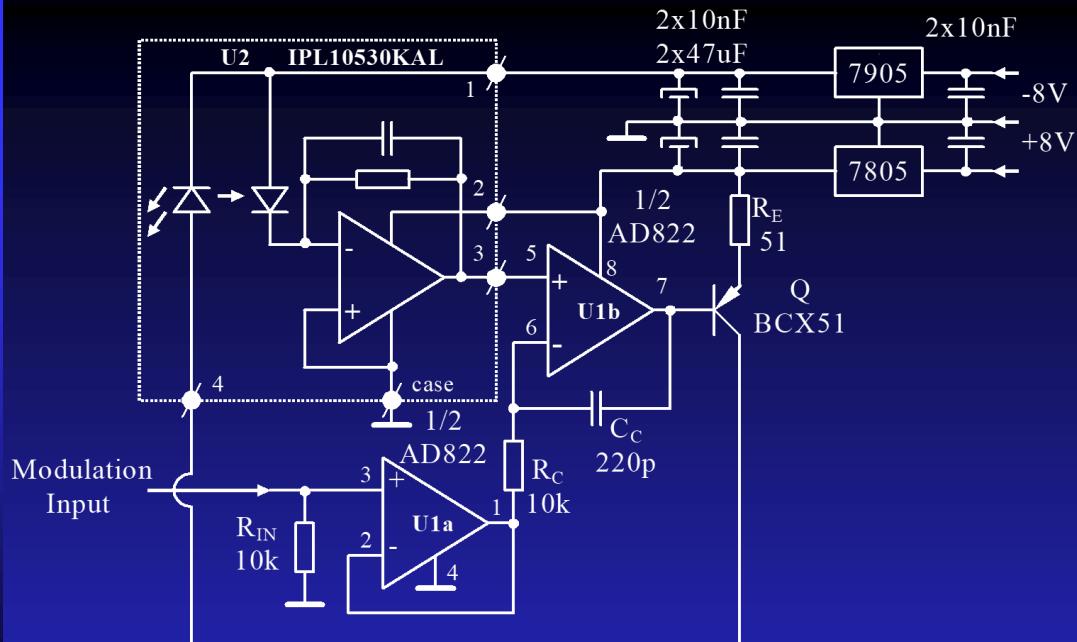
Mikroprocesorowa (AT89C2051) modulacja i detekcja synchroniczna.  
Optoizolowane łącze RS-485/232C



Schemat pomiarowy fotometru (geometria  $45^\circ$ ) do pomiaru optycznego odbicia rozproszonego z zenitowo umieszczonym detektorem

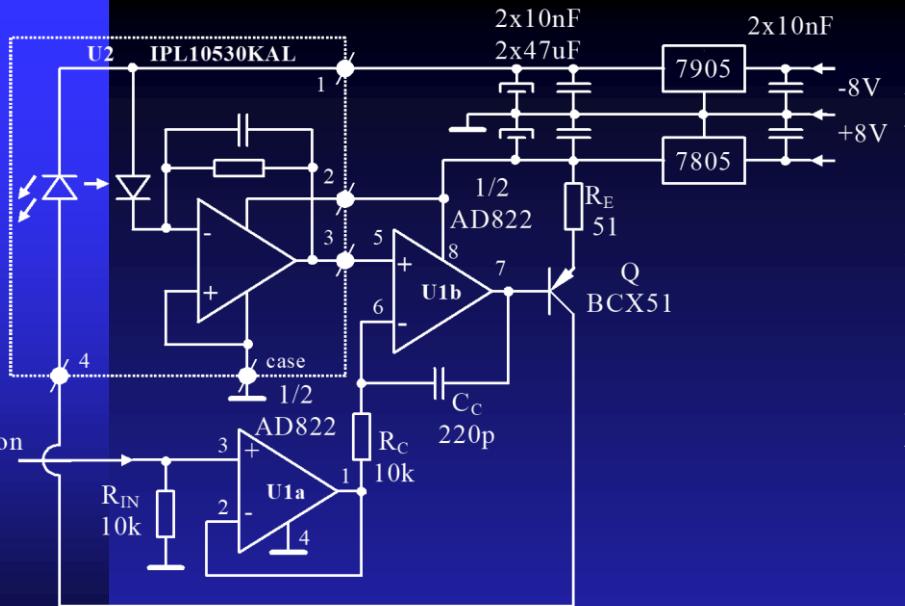


Schemat pomiarowy fotometru (geometria  $45^\circ$ ) do pomiaru optycznego odbicia rozproszonego z zenitowo umieszczonym emiterem



**Figure 1.** Schematic diagram of the modulated light source.

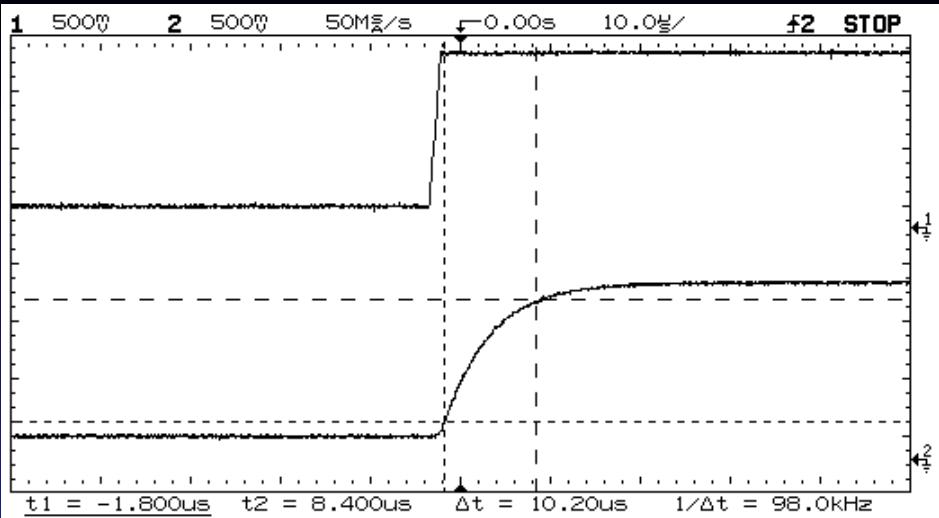
Semiconductor LEDs may be successfully used as the sources of near IR light. But when the source of light with very precisely controlled power is required some kind of feedback loop is unavoidable in such cases to compensate for the temporal and thermal changes of LED parameters. This may create a serious problem as standard LED types does not come with such monitoring detectors and the extra externalnal monitoring photodiode facing LED is required to pick up a part of the emmited light and generate the feedback signal. Such situation calls for some kind of mechanical fixture to mount the photodiode This solution however is bulky and cumbersome especially when the room is scarce. To cope with the problem of external monitor IPL10530KAL the hybrid detector/emmitter module form Integrated Photomatrix Ltd. may be conviniently used (emmited wavelength is about 880 nm). Application of this module to build the modulated IR light source is presented in Figure 1. Only one additional op-amp together with two voltage regulators are required to set up all the circuit.



**Figure 1.** Schematic diagram of the modulated light source.

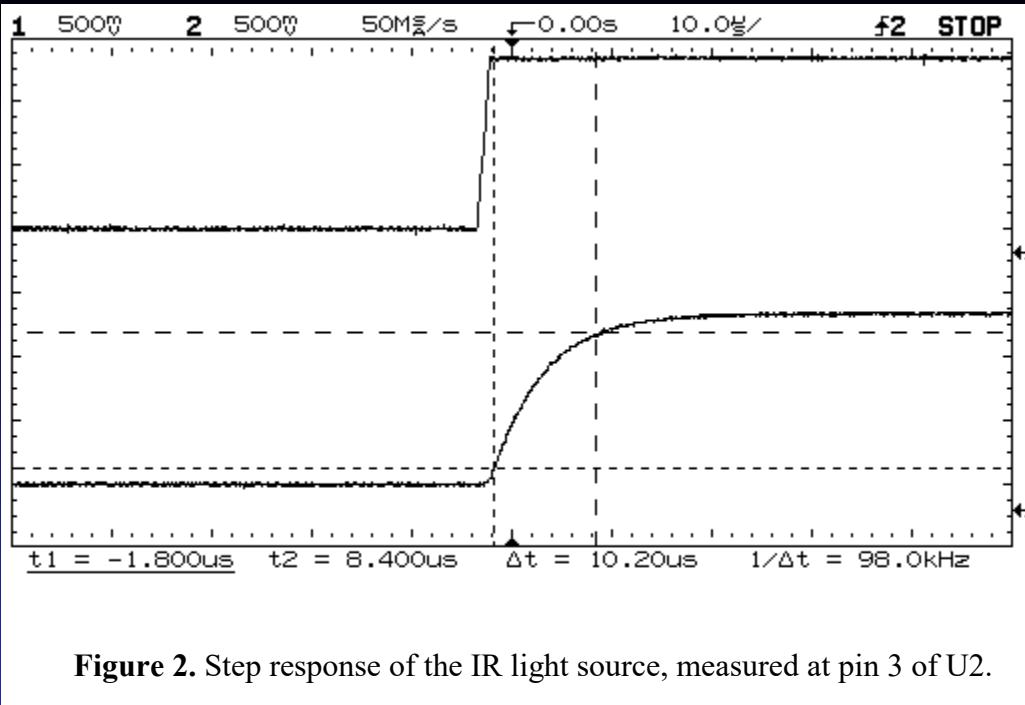
Półprzewodnikowe diody LED można z powodzeniem stosować jako źródła światła pracujące m.in. w bliskiej podczerwieni. Ale gdy wymagane jest źródło światła o bardzo precyzyjnie kontrolowanej mocy, w takich przypadkach nie można uniknąć pętli sprzężenia zwrotnego, aby skompensować zmiany czasowe i termiczne parametrów diod LED.

Może to powodować poważny problem, ponieważ standardowe typy diod LED nie są dostarczane monitorującymi strumień świetlny detektorami, a dodatkowa zewnętrzna fotodioda monitorująca jest wymagana do odebrania części emitowanego światła i wygenerowania sygnału sprzężenia zwrotnego. W takiej sytuacji konieczne jest odpowiednie mechaniczne (geometria optyczna) zamontowania/usytuowanie fotodiody. To rozwiązanie jest jednak kłopotliwe, zwłaszcza gdy w urządzeniu jest mało miejsca. Aby poradzić sobie z problemem zewnętrznego monitora, można z powodzeniem zastosować hybrydowy moduł detektora / emiterów firmy Integrated Photomatrix Ltd. (długość fali emitowanej wynosi około 880 nm) typu IPL10530KAL. Zastosowanie tego modułu do budowy modulowanego źródła światła IR przedstawiono na rysunku 1. Do skonfigurowania całego obwodu wymagany jest tylko jeden dodatkowy, podwójny wzmacniacz operacyjny wraz z dwoma regulatorami napięcia.



**Figure 2.** Step response of the IR light source, measured at pin 3 of U2.

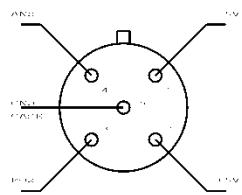
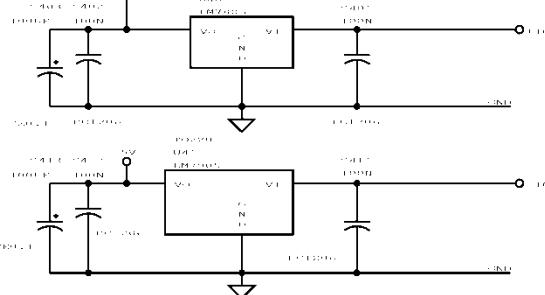
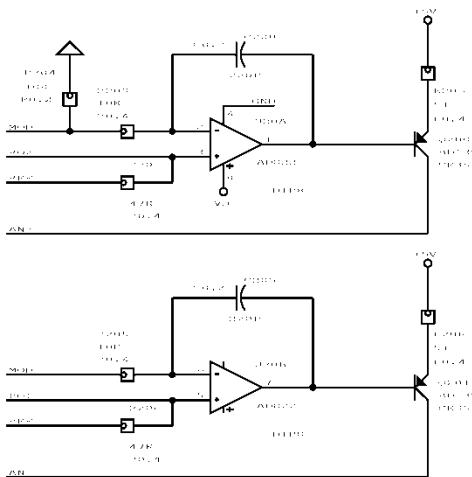
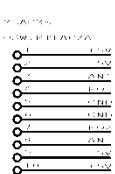
The input modulating signal acts here as a „reference voltage” and is connected via a separating amplifier U1a to the comparing feedback loop amplifier U1b. Resulting output voltage drives the output transistor Q which directly drives LED. Resistor RE limits the maximum driving current to value about 80 mA thus removing the risk of LED damage. Its value may be further reduced if higher power level is required as the absolute maximum rating for LED is 500 mA but it may require a change in the frequency compensation network. The frequency compensation network consists of components RC and CC and introduces a pole ( $f_P=0$  Hz) and a zero into the open loop transfer function. This zero is used to cancel the pole introduced by the monitoring photodiode preamplifier (located at about 100kHz) so the pole is a dominant pole in the feedback loop. With component values shown the 3 dB modulation bandwidth of the source is set to about 40 kHz. Value of the compensating capacitor CC was adjusted experimentally by observing the voltage at pin 3 of U2 and driving the circuit with the squarewave (Figure 2).



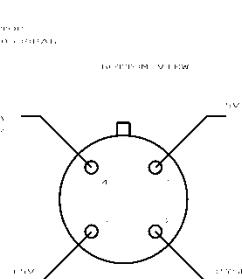
**Figure 2.** Step response of the IR light source, measured at pin 3 of U2.

Because this voltage is a filtered version of the output optical waveform (thus it looks a little bit better) additionally a phase margin was evaluated by the SPICE simulation as being about 85 deg. As AD822 dual rail-to-rail single supply operational amplifier is used in presented design the input modulating voltage may change in the range 0-5 V. Slope efficiency of the entire source (defined as  $dP/dU_{MOD}$ ) is about 1.5 mW/V and may differ slightly from unit to unit of particular U2 detector/emitter used. Input voltage 0 V corresponds to the lack of output power and 5 V to about 7.5 mW. Design presented here was used as a IR light source in very precise reflectometric measurement system incorporating pulse modulation and further synchronous detection. To increase precision of the system entire optical head, composed from the IR source and IR detector, was held in the thermally stabilized environment and the temperature was controlled with the accuracy 0.5 degC. Measured power stability of the source achieved in the system was better than 1 ppm longterm after initial warm-up.

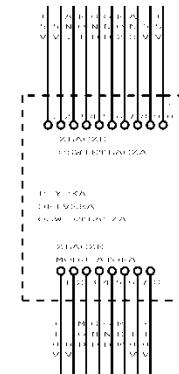
## OPTYCZNA GLOWICA POMIAROWA DRIVER OSWIETLACZA



CHI-100

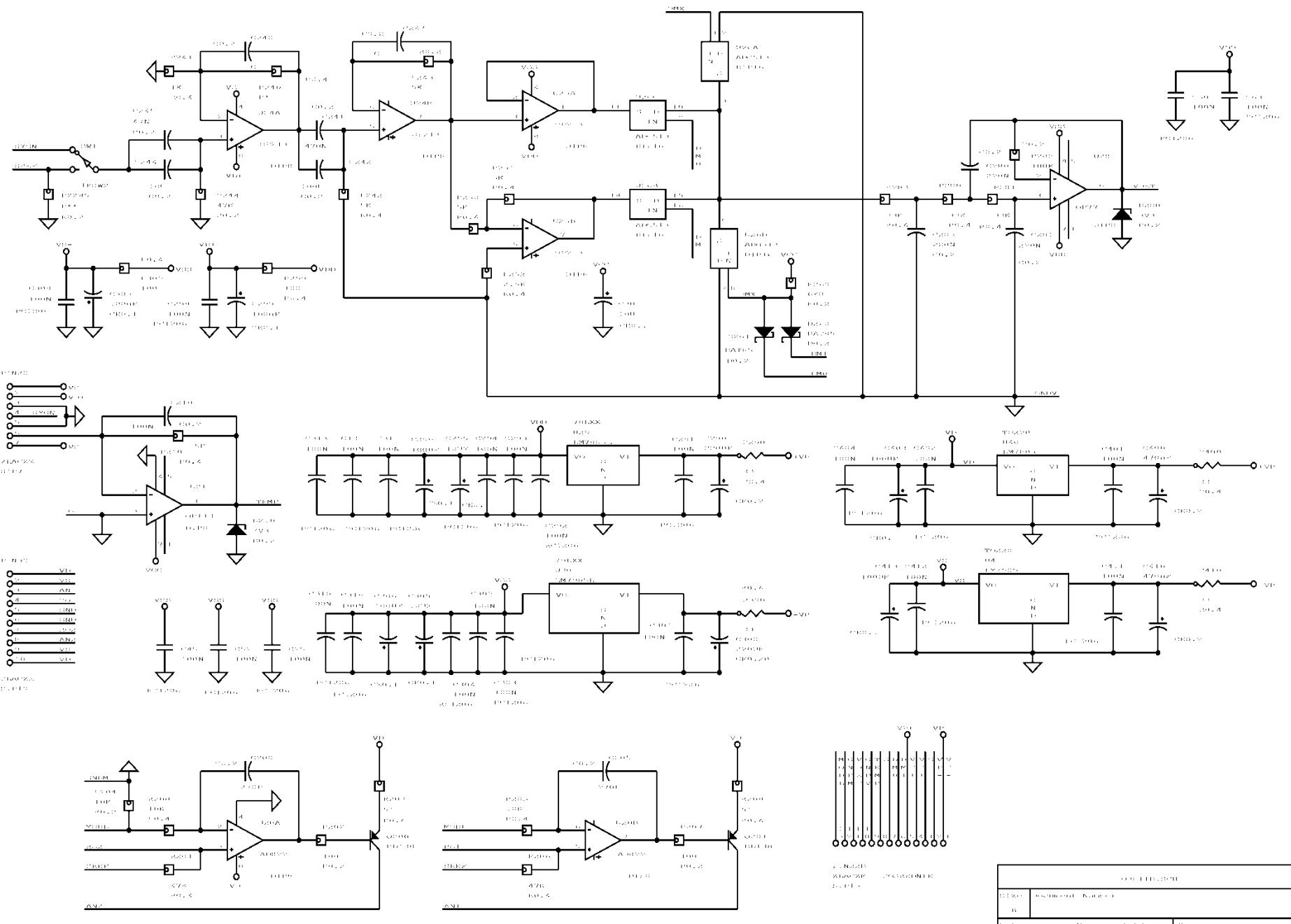


DEPARTMENT OF  
THE STATE

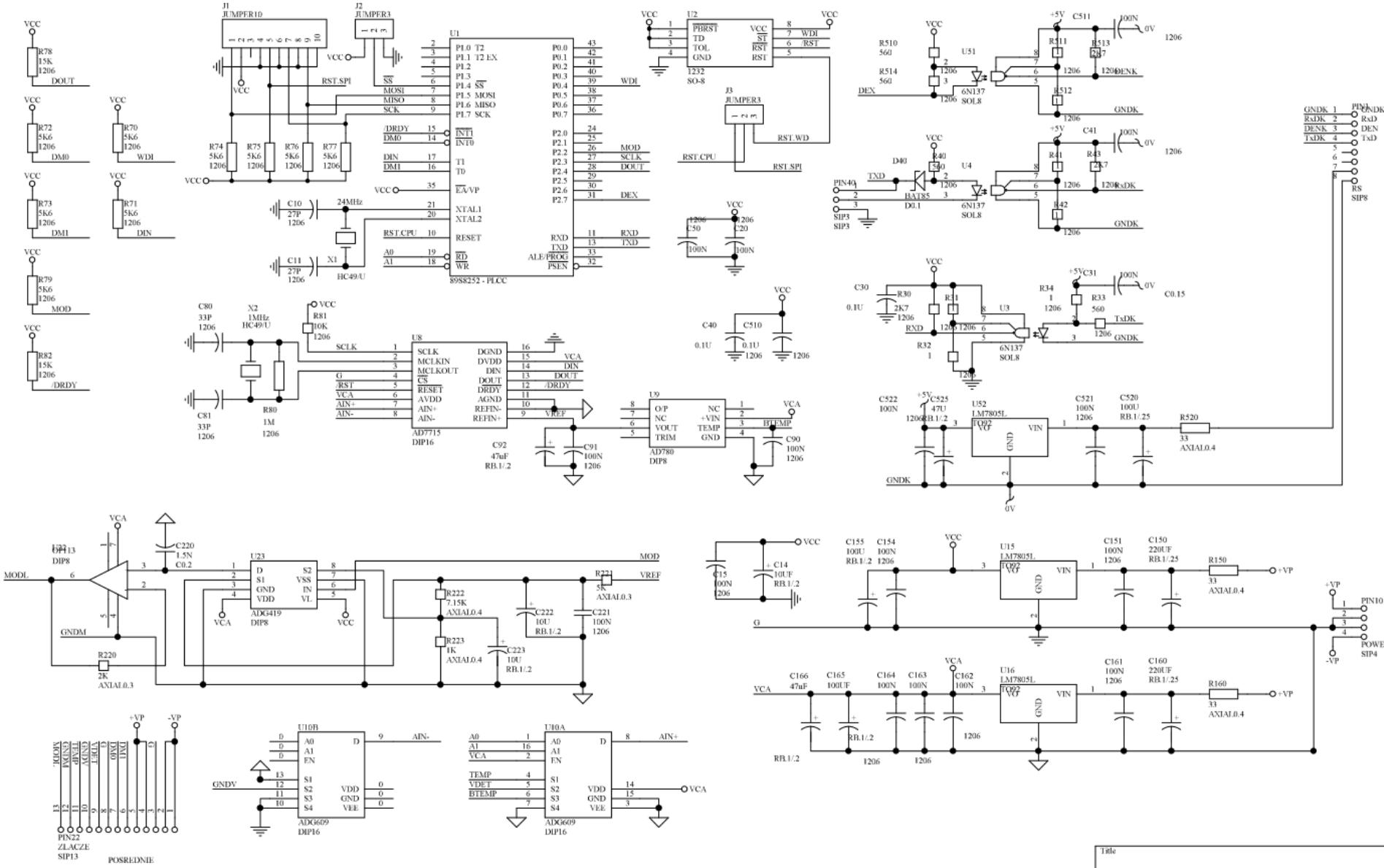


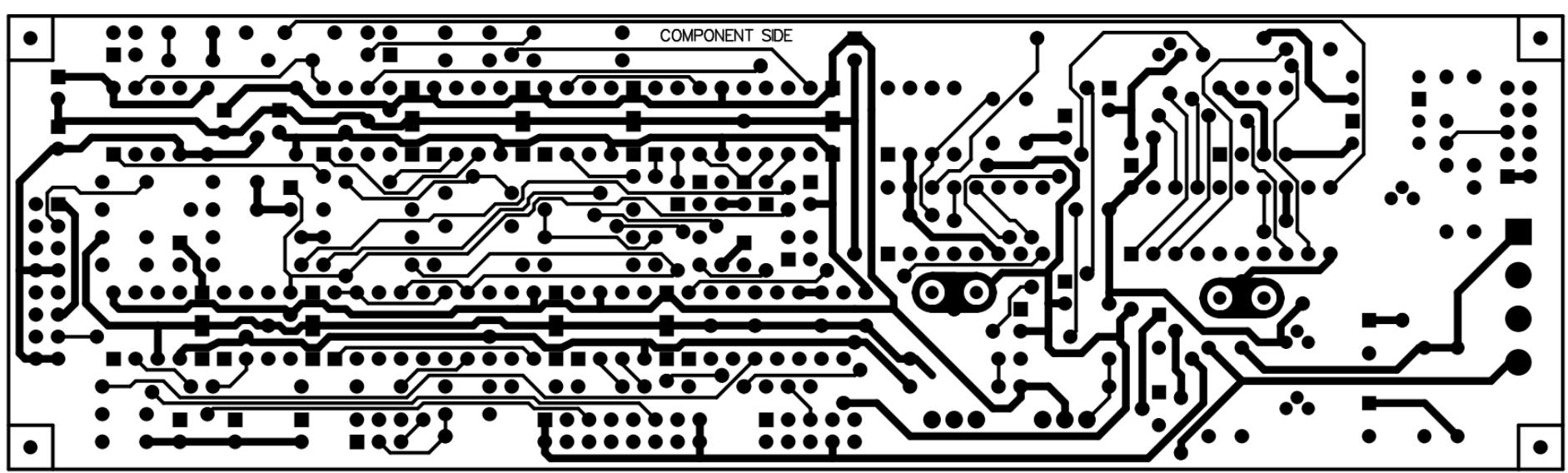
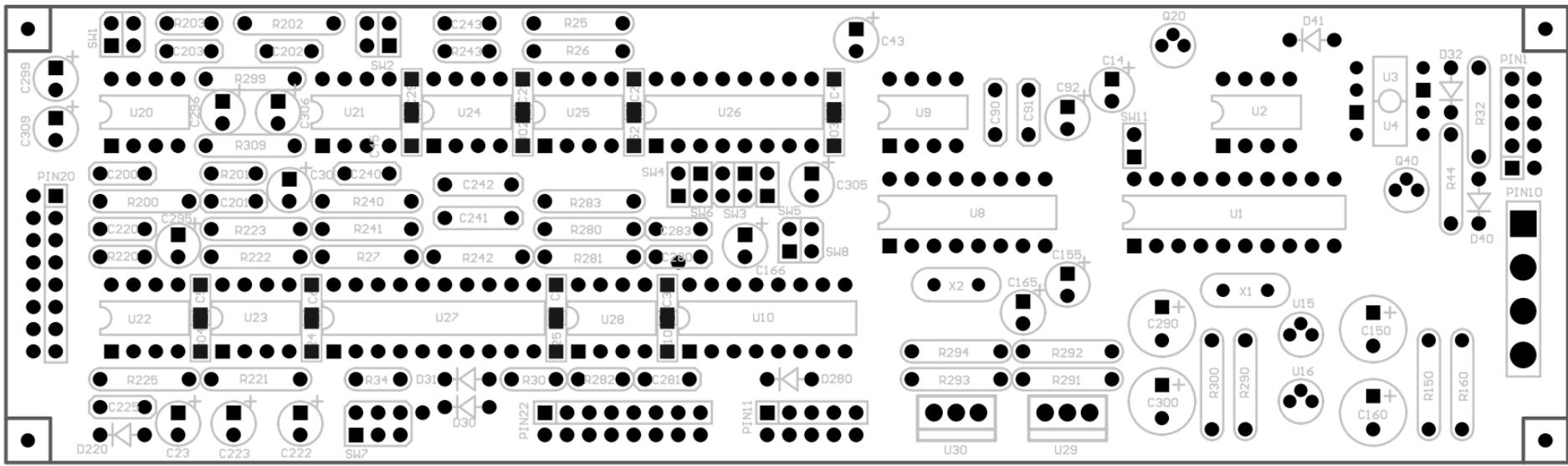
Emissions		Emissions		Emissions	
CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>
17.000	1.000	16.000	1.000	15.000	1.000
17.000	1.000	16.000	1.000	15.000	1.000

# Oświetlacz



# Oświetlacz



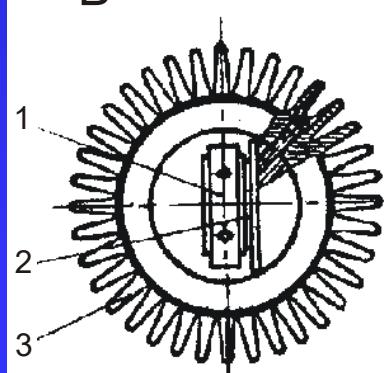
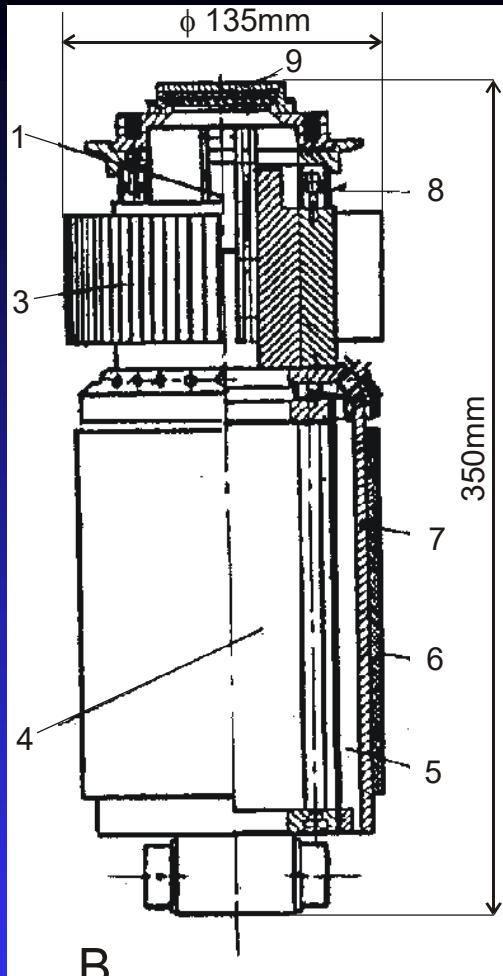


PCB

# OPTYCZNA GŁOWICA POMIAROWA

ZESPÓŁ OPTOMECHANICZNY

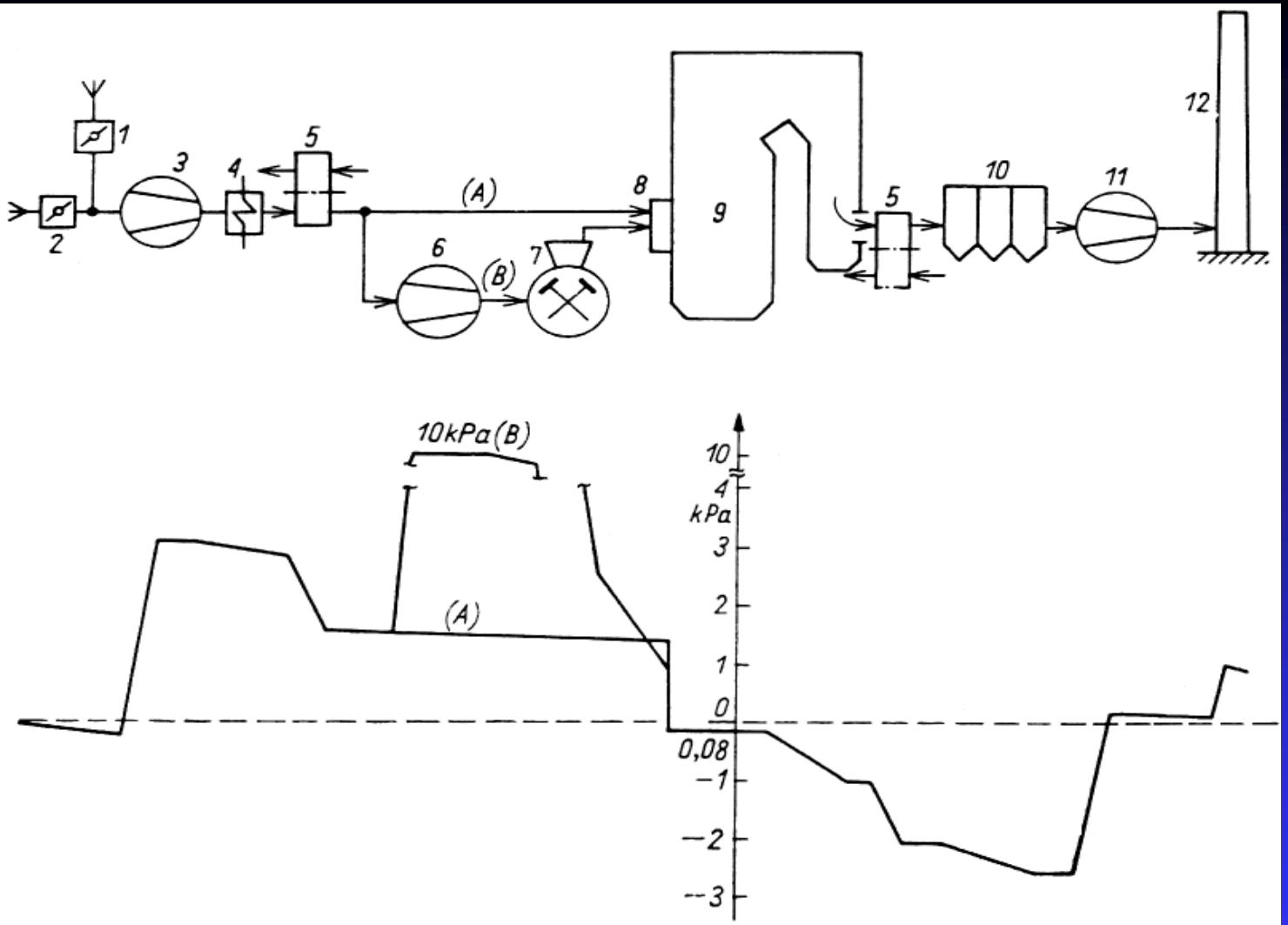
- ✍ Podłączenie fotometru poprzez wziernik do komory osadczej popiołu i uzyskanie kontaktu optycznego z próbką popiołu (w trakcie procesu produkcyjnego)
- ✍ Zapewnienie stabilizacji termicznej układu optycznego fotometru i podzespołów elektronicznych głowicy pomiarowej dla wszystkich sytuacji występujących podczas eksploatacji urządzenia.
- ✍ Kontrola rozprływu ciepła w mechanicznej obudowie głowicy pomiarowej (złącze Peltiera).



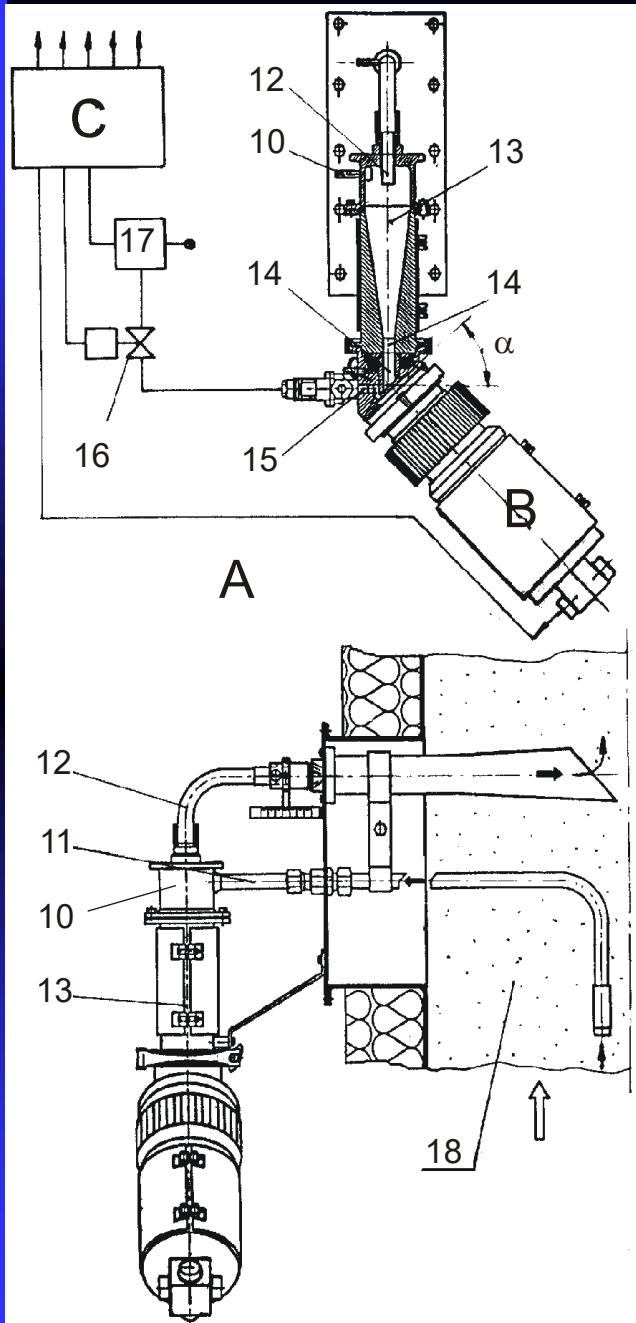
## Optyczna głowica pomiarowa (B):

- (1) - fotometr;
- (2) - złącze Peltiera;
- (3) - radiator;
- (4) - zasobnik elektroniki;
- (5) - powietrzna szczelina izolacyjna;
- (6) - grzałka;
- (7) - rurowy przenośnik ciepła;
- (8) - opornik cieplny;
- (9) - wziernik;

# ZESPÓŁ POBIERANIA PRÓBEK



1, 2 - klapy powietrza; 3- wentylator powietrza; 4 - parowy podgrzewacz powietrza; 5 - obrotowy podgrzewacz powietrza; 6 - wentylator młynowy; 7 - młyn miażdżący; 8 - palniki; 9 - kocioł; 10 - elektrofiltry; 11- wentylator spalin; 12 - komin



Zespół pobierania próbek popiołu (A) z kanału emisyjnego elektrowni cieplnej oraz blok automatyki przemysłowej (C):

(10) – cyklon

(11) - styczny kanał wlotowy

(12) - centralny kanał wylotowy

(13) - stożek osypowy

(14) - komora osadzca

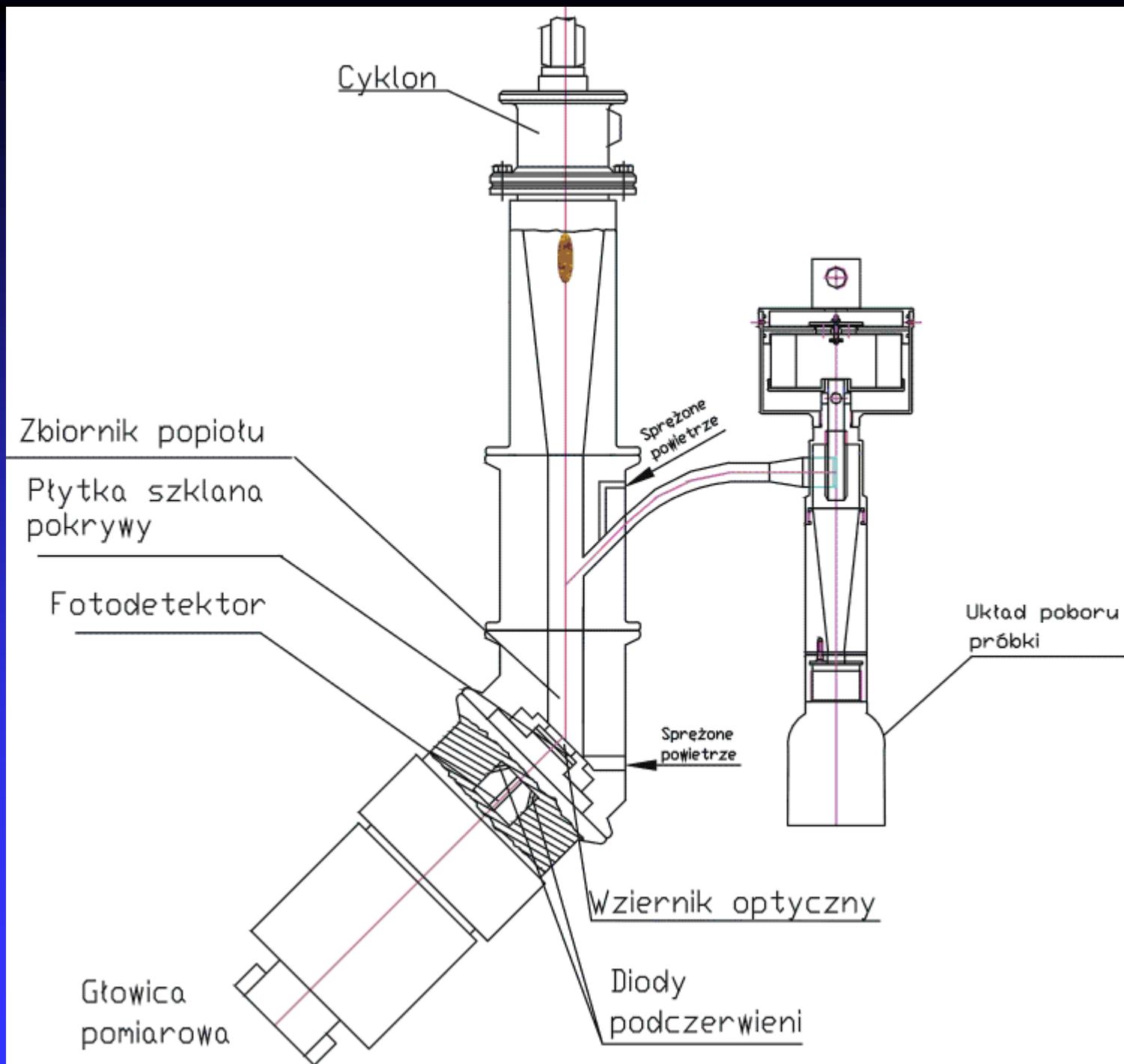
(15) - dysza czyszcząca

(16) - zawór elektromagnetyczny

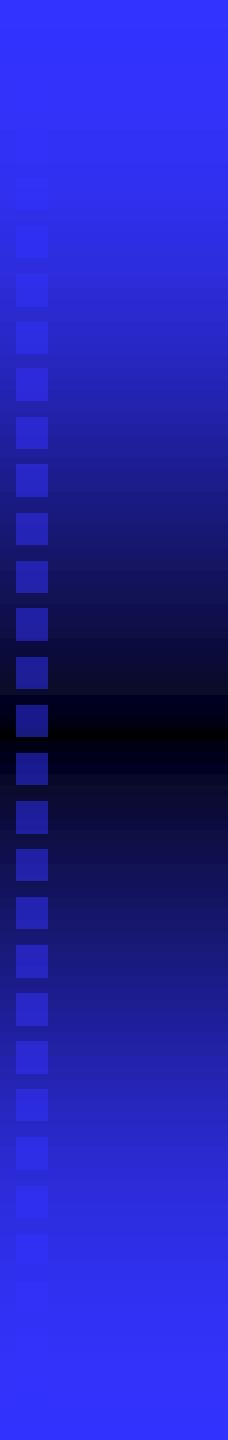
(17) - stacja przygotowania powietrza

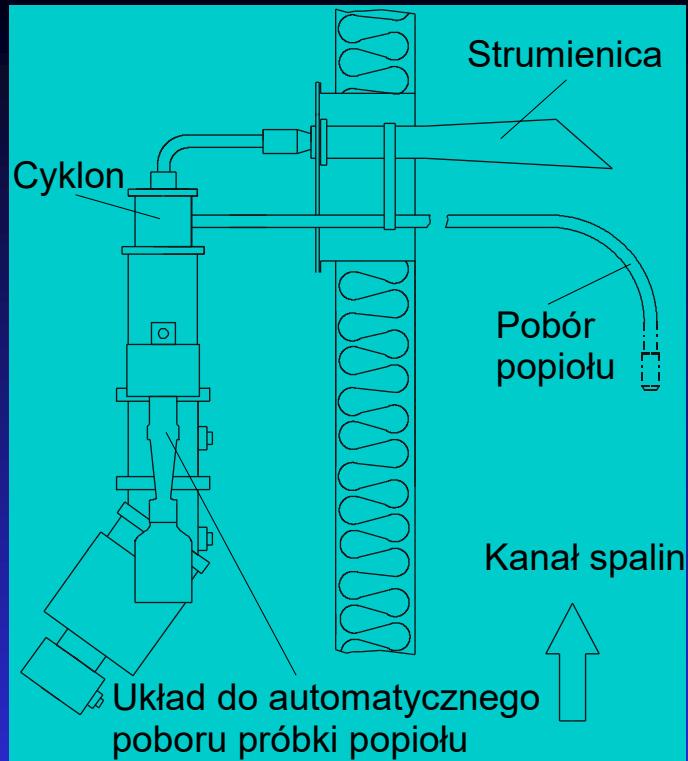
(18) - kanał emisyjny

- Cykliczne (np. co 5 min) pobieranie próbek popiołu z kanału emisyjnego (spalinowego).
- Usuwanie próbki popiołu z powrotem do kanału emisyjnego po dokonaniu pomiaru
- Czyszczenie wziernika
- Pobieranie popiołu do analizy laboratoryjnej.

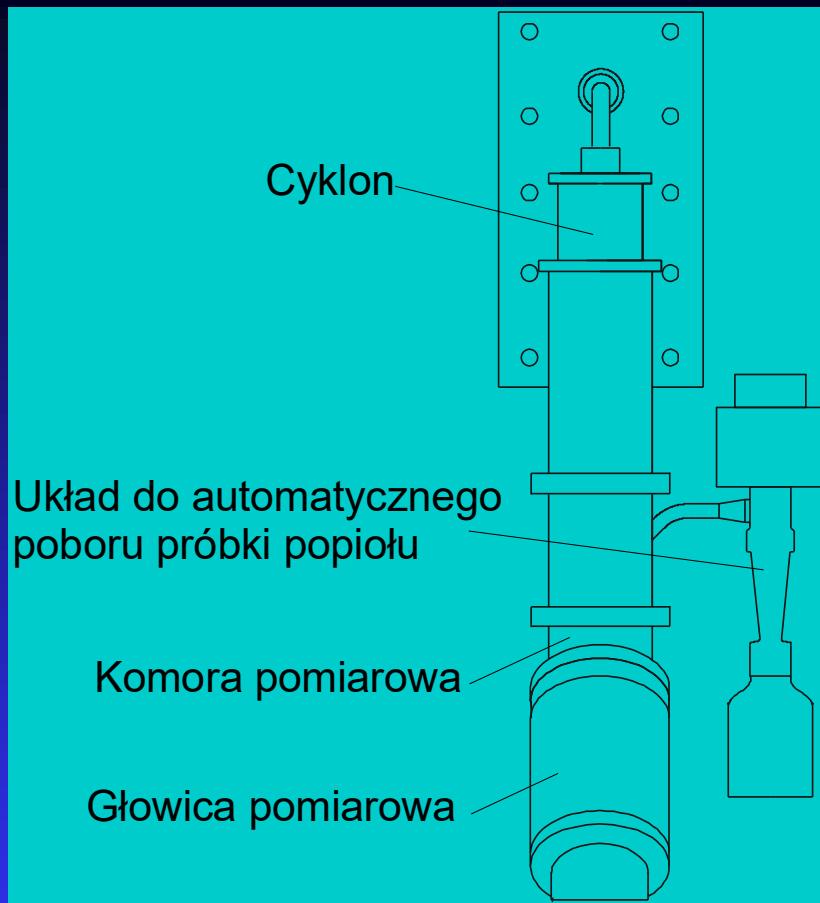


# ZESPÓŁ POBIERANIA PRÓBEK





- Cykliczne (np. co 5 min) pobieranie próbek popiołu z kanału emisyjnego (spalinowego).
- Usuwanie próbki popiołu z powrotem do kanału emisyjnego po dokonaniu pomiaru
- Czyszczenie wziernika
- Pobieranie popiołu do analizy laboratoryjnej.

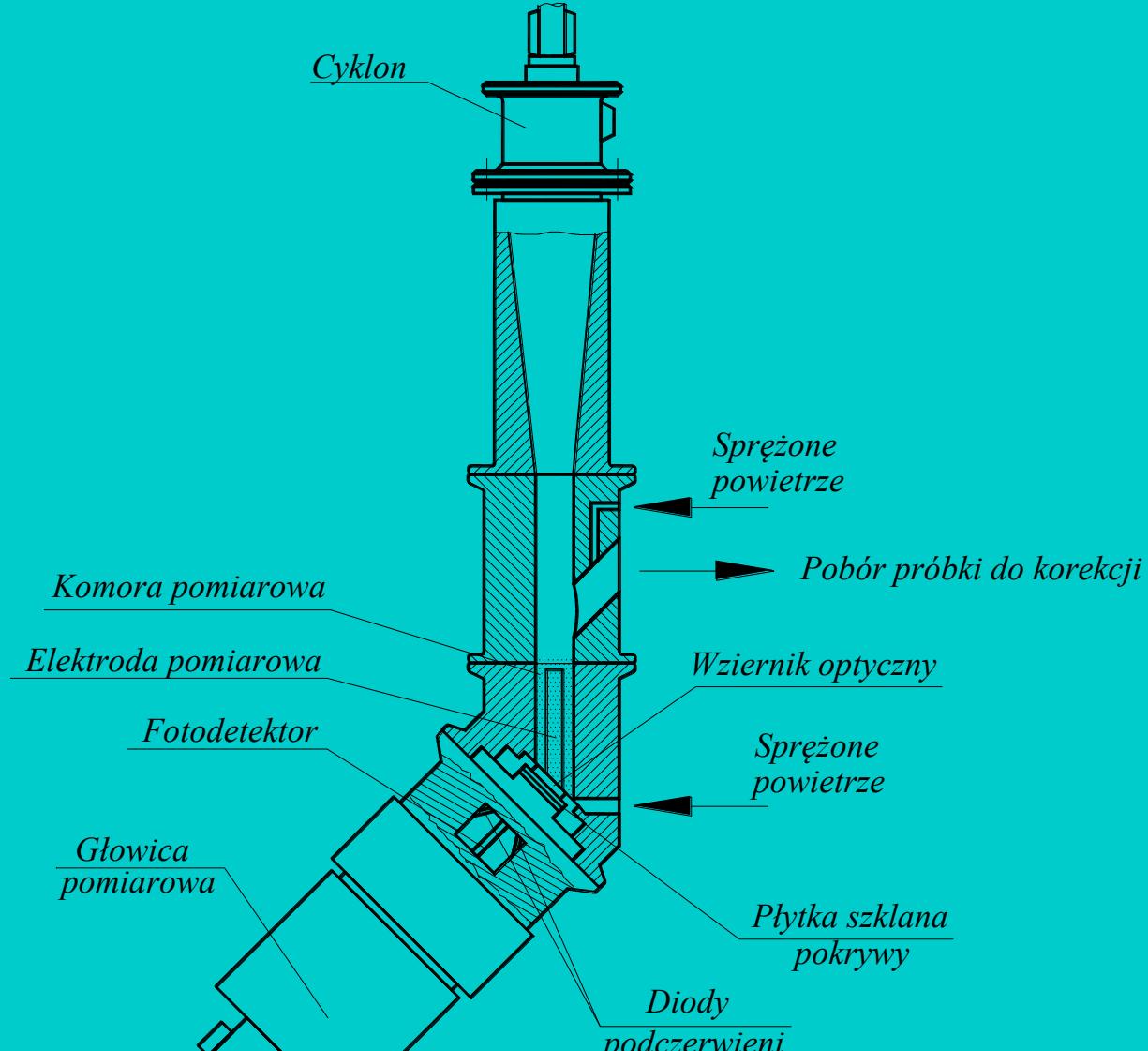


Montaż zespołu pobierania próbek popiołu odbywa się na kanale spalin przy czym można go umieścić zarówno przed jak i za obrotowym podgrzewaczem powietrza.

# UKŁAD OPTOMECHANICZNY

Optyczna głowica pomiarowa zamocowana jest pod kątem w stosunku do próbnika popiołu.

Popiół do badań zbierany jest w cylindrycznej komorze osadczej z płaskim szklanym wziernikiem stanowiącym jej dno. Umożliwiło to opcjonalnie pomiar rezystancji popiołu przy użyciu dwu elektrod umieszczonych w komorze pomiarowej (analizator taki pracuje w Elektrociepłowni Będzin S.A.)



# OCENA PRACY UKŁADU OPTOELEKTRONICZNEGO

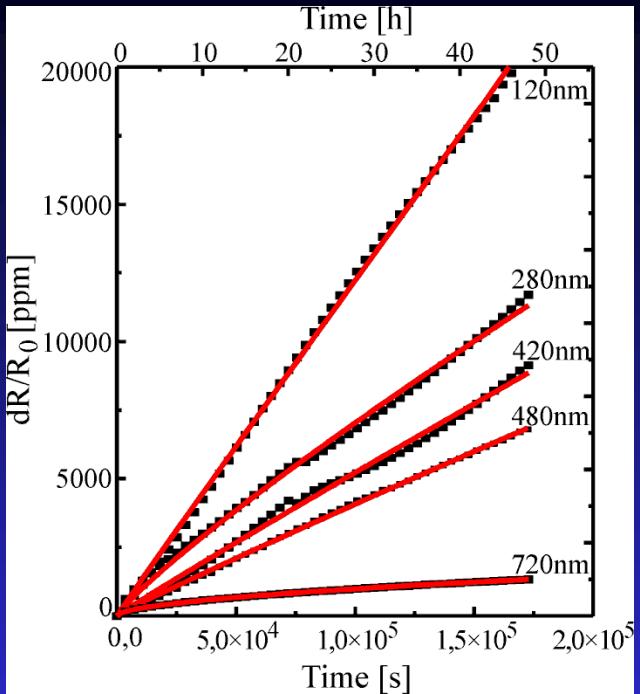
Ekstrapolacja pomiarów  
długoterminowych (test 1000 h)  
metodą pomiaru in-situ

$$\frac{\delta R}{R_0} = \sum_i \alpha_i t^{n_i} \exp\left(\frac{-E_i}{kT}\right)$$

$$\frac{\delta R}{R_0} = \sum_i \alpha_i t^{n_i} \exp\left(\frac{-E_i}{kT}\right)$$

$E_i$  - is activation energy,  $n_i$  is the time dependence,  $\alpha_i$  is a preexponential constant characteristic of particular ageing mechanisms. The total resistance change is dependent on the sum of all mechanisms\*.

\* Limburgs Universitair Centrum, Institute for Materials Research, Report 1990-1992.H.

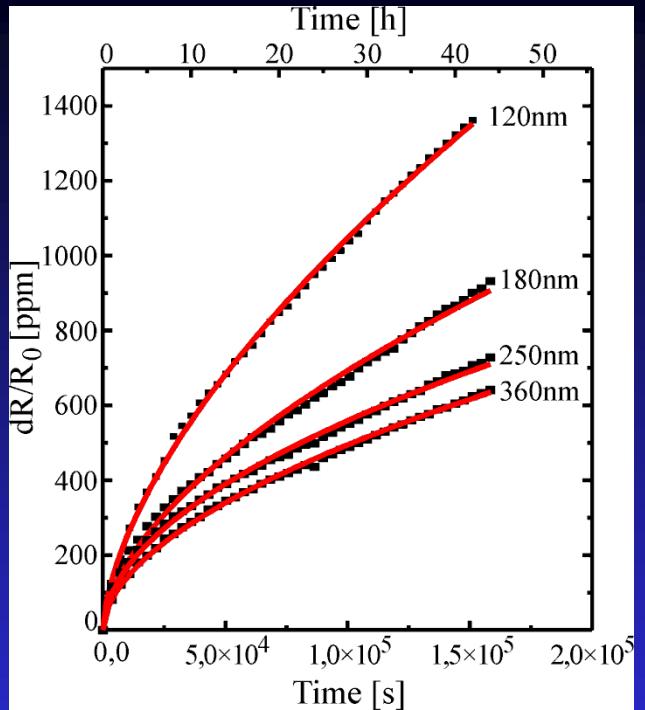


Parameters of  
approximation function

$$n = 0.980.01$$

$$K = 46217$$

Extrapolation of 1000h  
stability value 40.2%  
(sample of 120nm)



Parameters of  
approximation function

$$n = 0.620.01$$

$$K = 1348$$

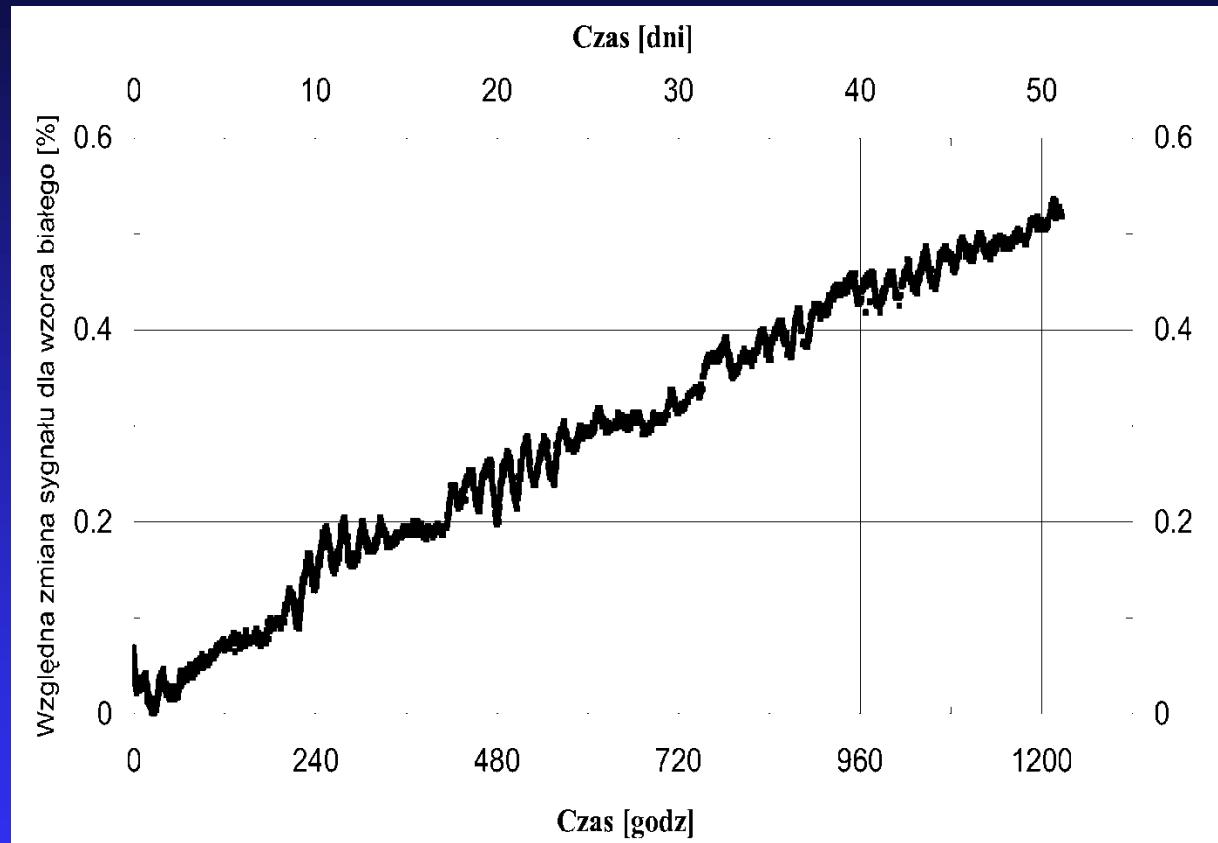
Extrapolation of 1000h  
stability value 0.97%  
(sample of 120nm)\*

\* Jankowski, S. Nowak, C. Worek, W. Posadowski, CIMTEC Conference Venice May 28-June 2, 2000

# OCENA PRACY UKŁADU OPTOELEKTRONICZNEGO

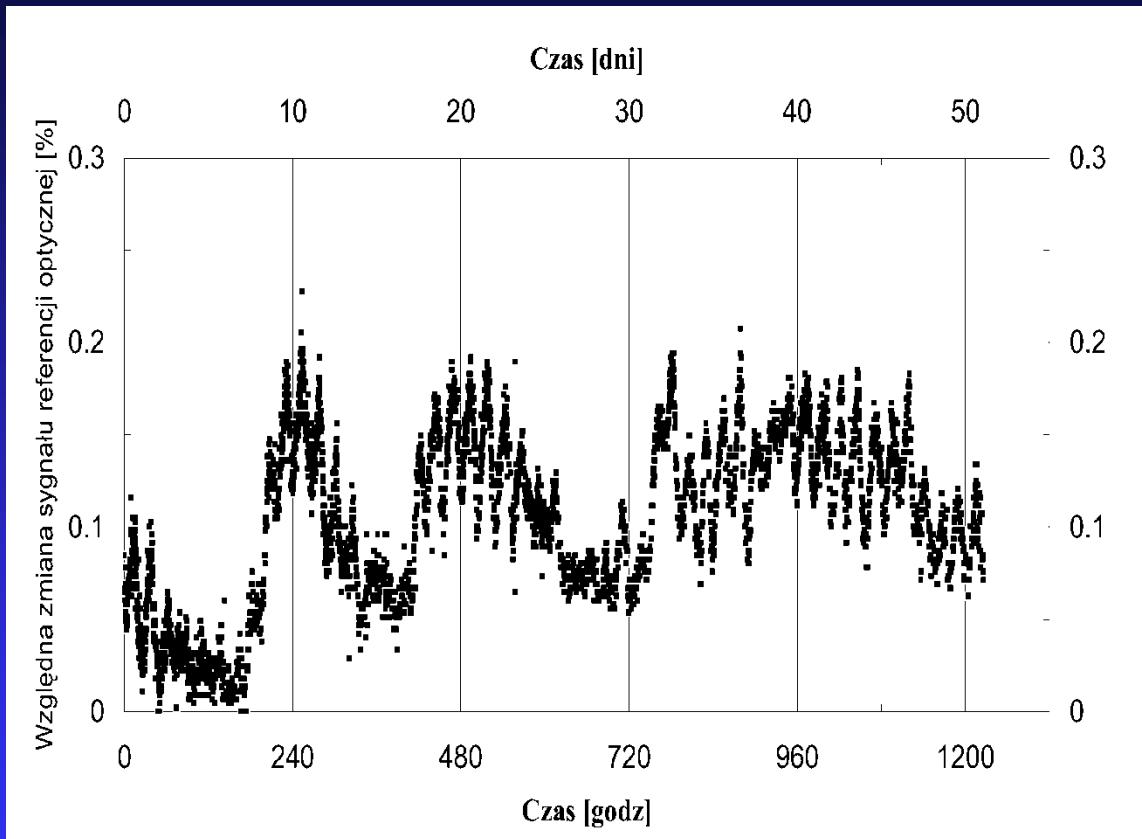
Wielodniowa obserwacja pracy  
głowicy i ekstrapolacja pomiarów  
długoterminowych (test 1000h)  
metodą pomiaru in-situ.

# Referencja optyczna



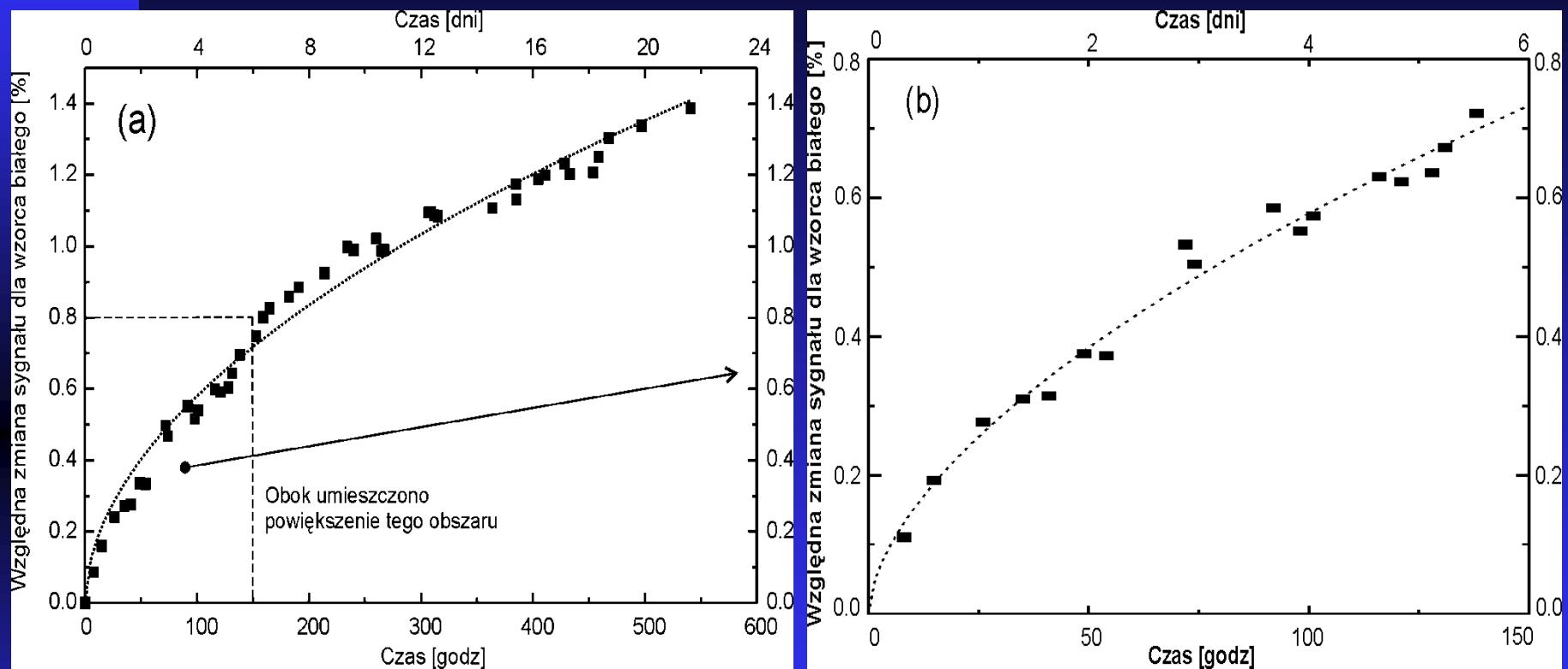
Względna zmiana sygnału  $\Delta I/I_0$  w czasie dla fotometru z zenitowo umieszczonym emiterem. Dryftu sygnału pomiarowego na 1000 h pracy wynosi 0.46%

# Referencja optyczna



Względna zmiana sygnału  $\delta I/I_0$  na detektorze referencji optycznej (fotometr z zenitowo umieszczonym emiterem).

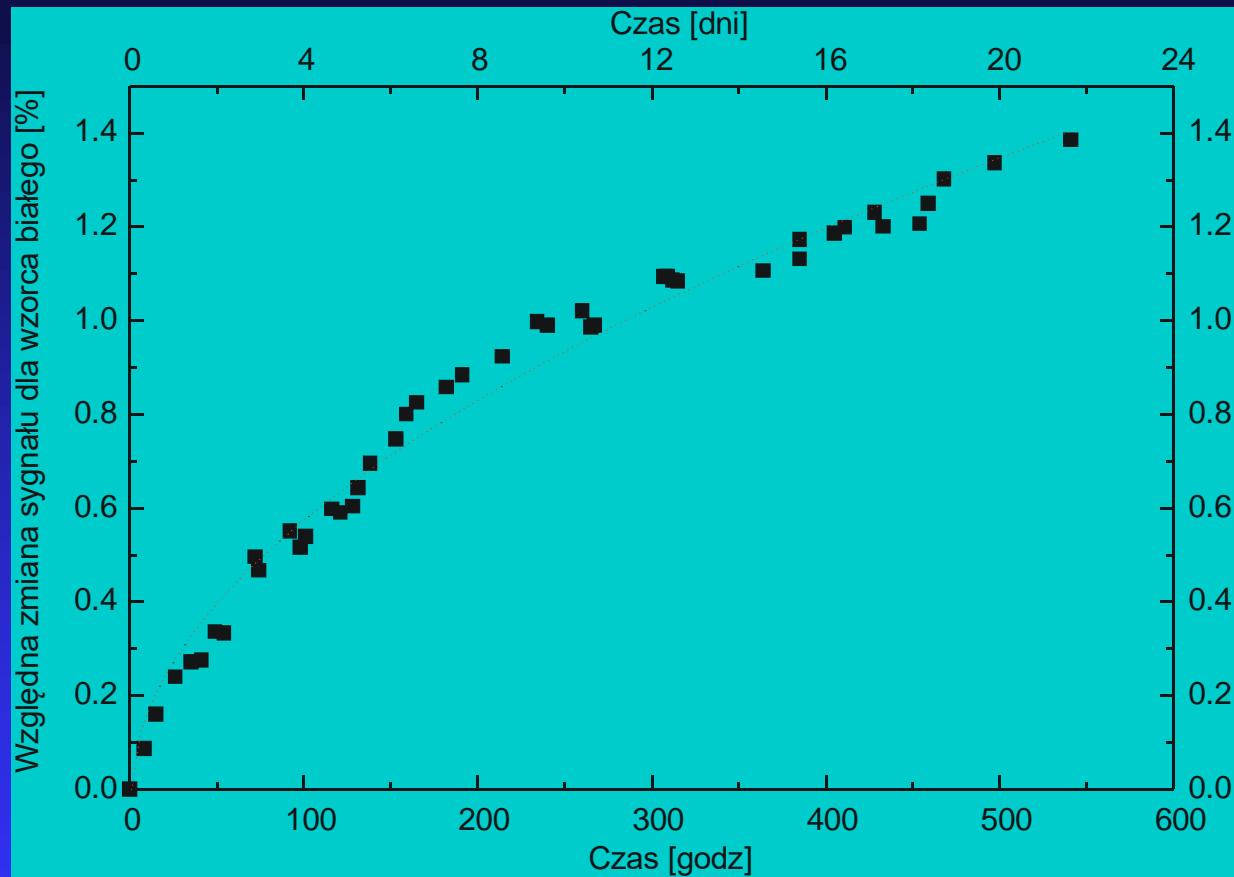
# Referencja optoelektroniczna



$$\frac{\delta I(t)}{I_0} = K \cdot t^n$$

Ekstrapolacja “in-situ” dryftu  $\delta I/I_0$ :  
150h obserwacja-> 2,2%  
600h obserwacja-> 1,8%

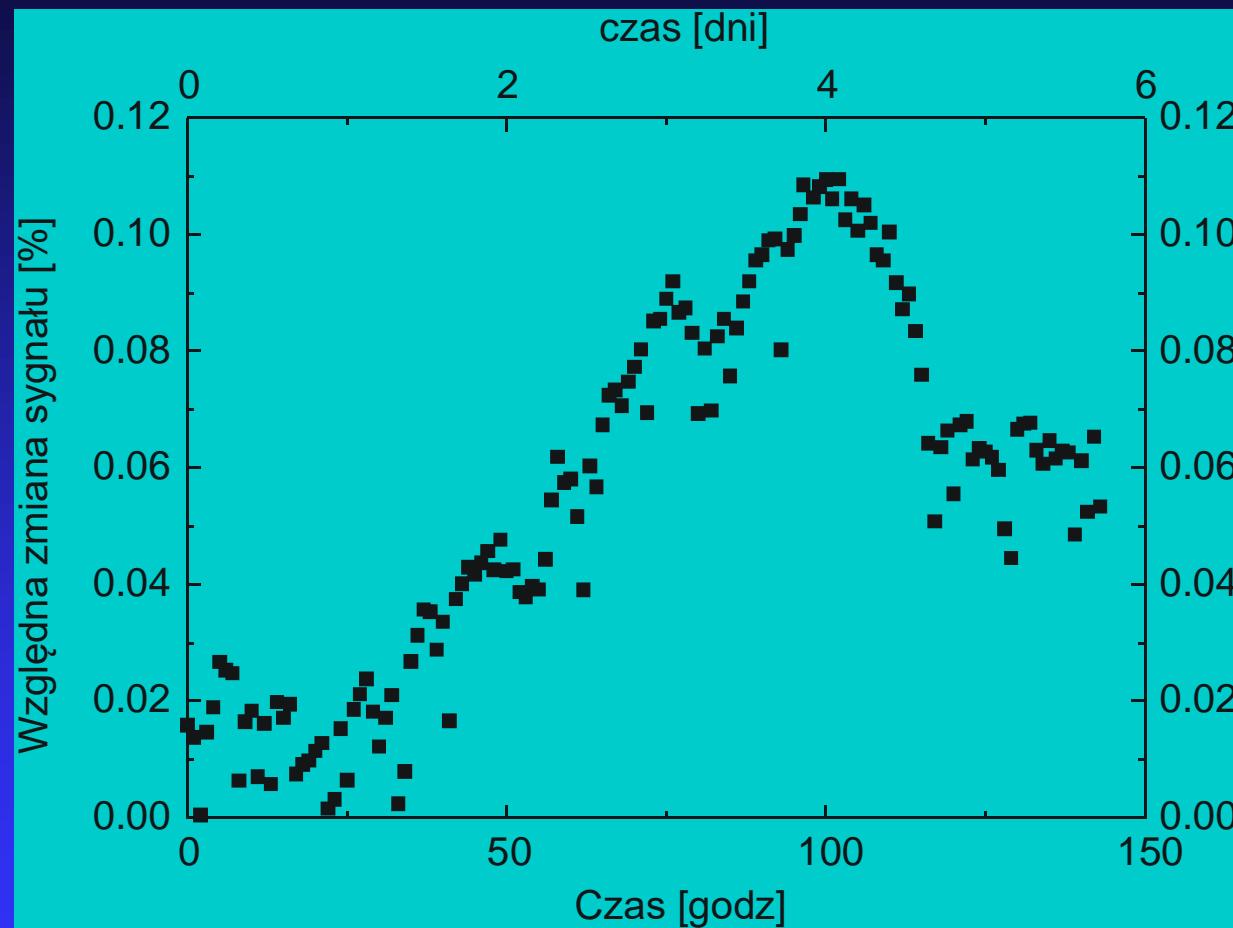
# Referencja optoelektroniczna



$$\frac{\delta I(t)}{I_0} = K \cdot t^n$$

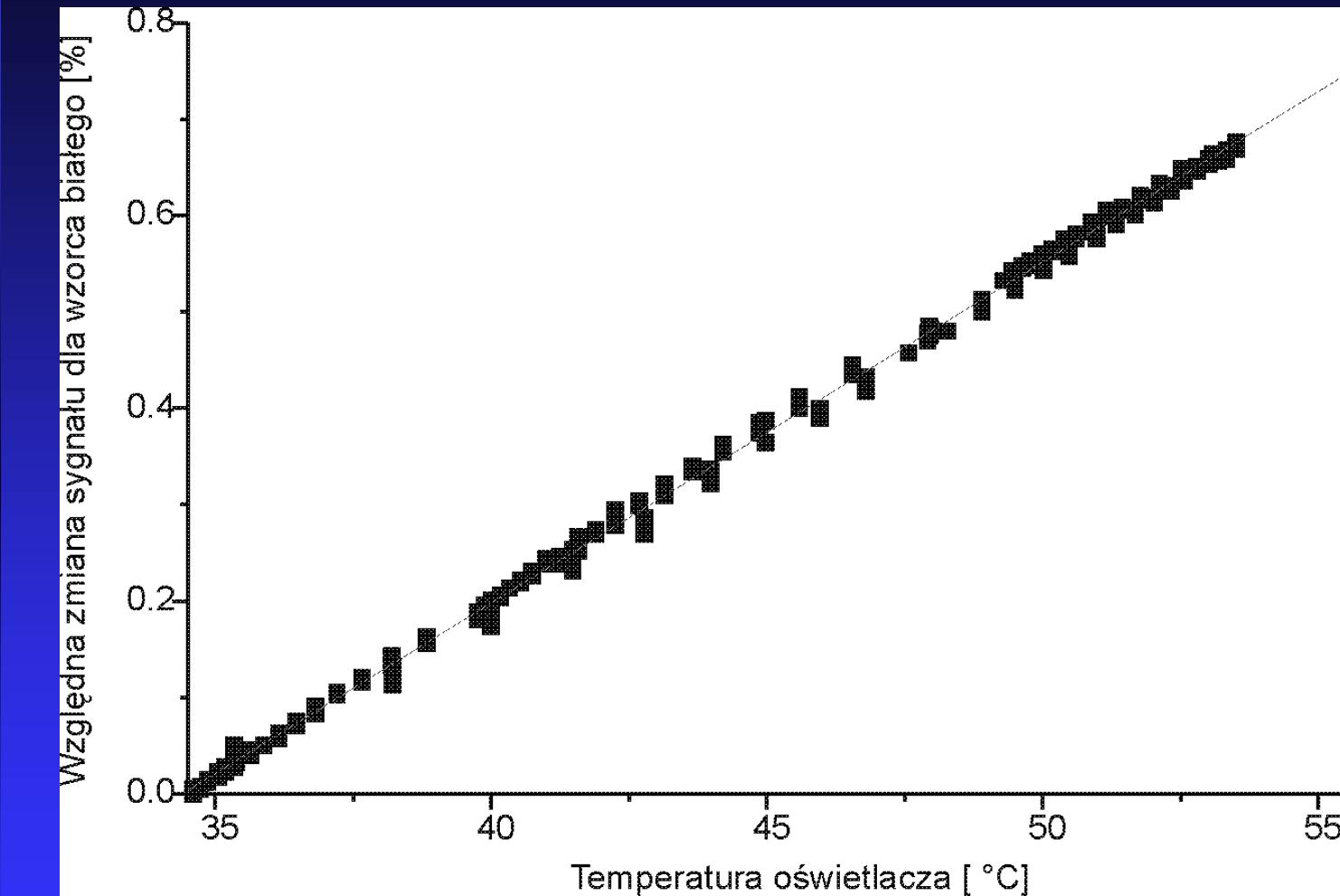
Ekstrapolacja “in-situ”: 1.8% dryft parametru I/I<sub>0</sub> na 1000 h pracy.

# Referencja optyczna



Stabilizacja parametru I/I<sub>0</sub> w pasie 0.04-0.08%.

# Referencja optyczna



Względna zmiana sygnału  $\delta I/I_{tp}$  w zależności od temperatury fotometru ( $I_{tp}$  – sygnał przy temperaturze fotometru  $34^{\circ}\text{C}$ ).

**Stabilność układu potwierdzają  
raporty użytkowników**

# OPTOELEKTRONICZNY SYSTEM CIĄGŁEGO POMIARU POZOSTAŁOŚCI WĘGLA W POPIOŁACH ENERGETYCZNYCH

JEDNOSTKA NADZORCZA  
ANALIZATORA  
POPIOŁU I  
OPROGRAMOWANIE

# JEDNOSTKA NADZORCZA

Zadaniem jednostki nadzorczej jest kontrolowanie i sterowanie podstawowymi zadaniami wykonywanych przez system pomiarowy tj.: procesem zbierania i usuwania próbek procesem czyszczenia powietrzem komory pomiarowej stabilizacją temperatury głowicy i układu pobierania próbek procesem pomiaru optycznego

# PROGRAM

Opracowany program może sterować pracą trzech głowic pomiarowych zamontowanych na różnych kanałach odprowadzających spalinę i zapewnia:

- komunikację z użytkownikiem i obsługuje lokalną bazę danych.
- wzorcowanie wprowadzające poprawki na zmiany w optyce układu (np. zmatowienie wzornika)
- cechowanie według odpowiednich wzorców,
- korekcję dostosowującą algorytm obliczeniowy do rodzaju

# OPTOELEKTRONICZNY SYSTEM CIĄGŁEGO POMIARU POZOSTAŁOŚCI WEGLA W POPIOŁACH ENERGETYCZNYCH

Wnioski

W pracy przedstawiono system pomiarowy ciągłego oznaczania węgla resztowego w procesie produkcyjnym elektrowni, do konstrukcji którego wykorzystano technikę optycznego odbicia rozproszonego.

W rozwiązaniu popiół do badań optycznych jest zbierany w cylindrycznej komorze osadczej z płaskim szklanym wziernikiem stanowiącym jej dno i umożliwiającym kontakt optyczny z układem fotometru głowicy pomiarowej. Daje to możliwość operacyjnego dostępu dla innych metod analitycznych do próbki popiołu, (np. poprzez cylindryczną ścianę komory).

Zastosowanie płaskiego wzornika umożliwiło testowanie dwu wersji układów optycznych fotometru: w układzie z detektorem umieszczonym zenitowo i dwoma emiterami światła oraz w układzie z emiterem umieszczonym zenitowo i czterema detektorami. W układzie zenitowego oświetlenia część strumienia światła z emitera poprzez dzielnicę wyprowadzono na dodatkowy detektor uzyskując sygnał referencji optycznej.

Układ elektroniczny głowicy pomiarowej zapewnia stabilny pomiar (dryft 1.8%/1000h) oraz umożliwia współpracę z rozbudowanym komputerowym systemem nadzoru działania analizatora, który jednocześnie zapewnia komunikację z użytkownikiem oraz przetwarza i obsługuje bazę danych.

Uzyskanie wartości liczbowych (% C) wymaga znajomości funkcji korelacji ( $R$  vs.%C). Na sygnał pomiarowy wpływa zarówno ilość węgla w próbce jak i szereg czynników specyficznych dla procesu produkcyjnego (rodzaj paliwa, typ kotła itp.). Rzutuje to na eksploatację urządzenia i w praktyce wiąże się z procedurą wprowadzania korekty uwzględniającej wyniki laboratoryjnych pomiarów chemicznych.

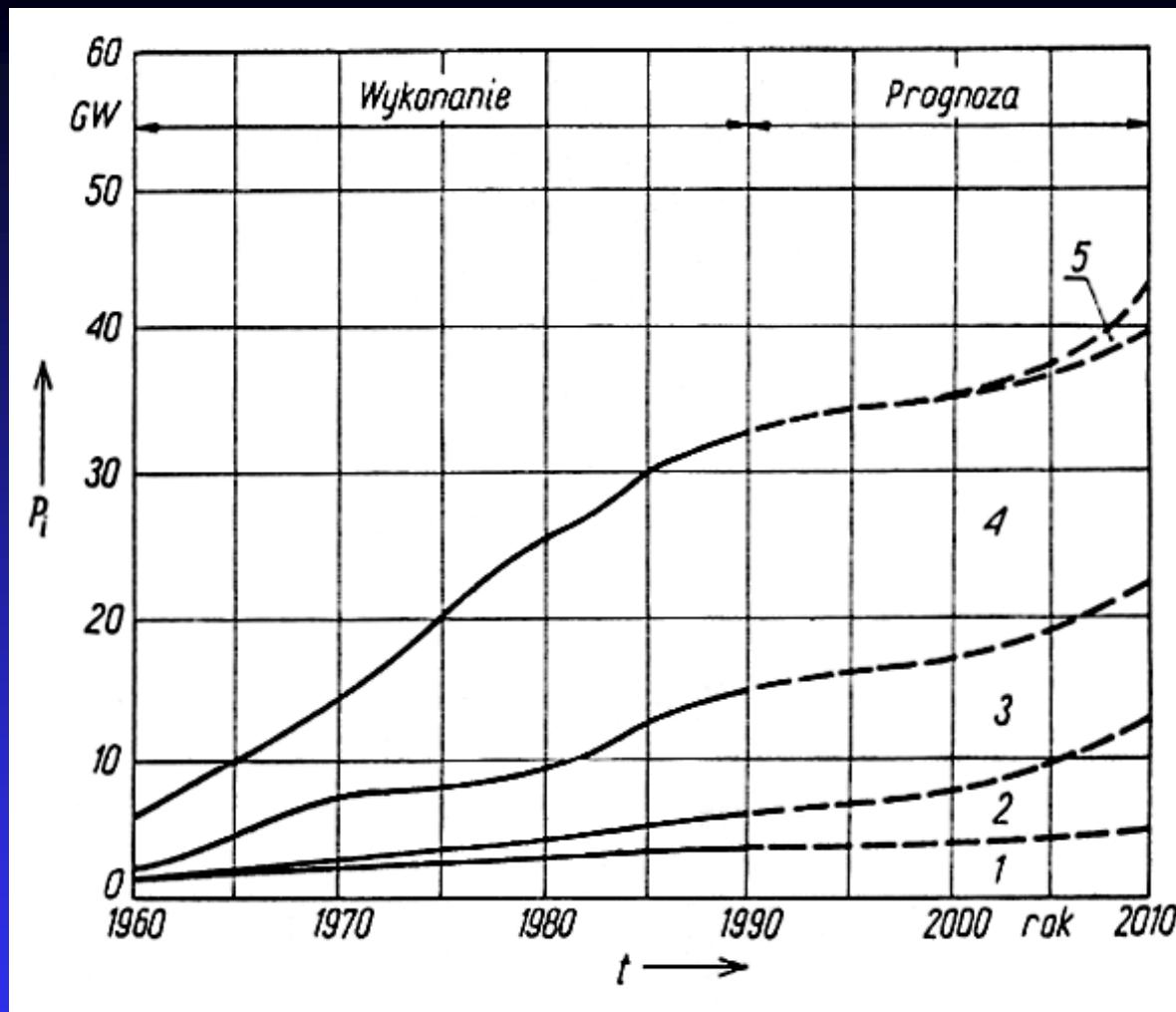
W programie komputerowym stworzono użytkownikowi ułatwienia formalne usprawniające przeprowadzanie procedury korekty.

System pracuje w elektrowniach Skawina, Jaworzno i Będzin. System uzyskał przemysłową sprawność działania (cykl pomiarowy  $t = 5\text{min}$ ) i zdolność analityczną oznaczania węgla w popiele w przedziale  $0\text{-}20\%\text{C}$  z dokładnością  $0.3\text{-}0.7\% \text{C}$ .

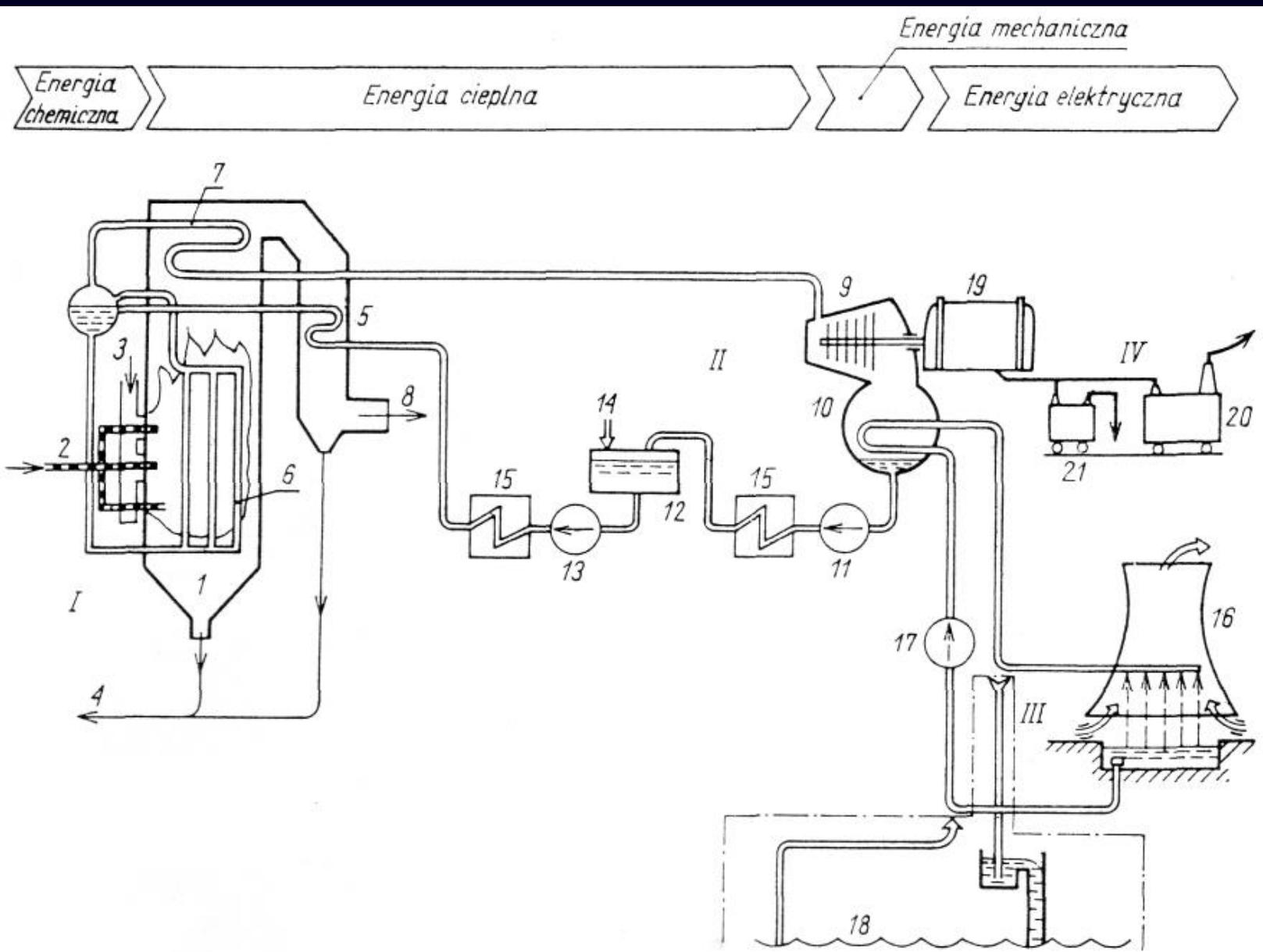


# Analizator AWP2/3

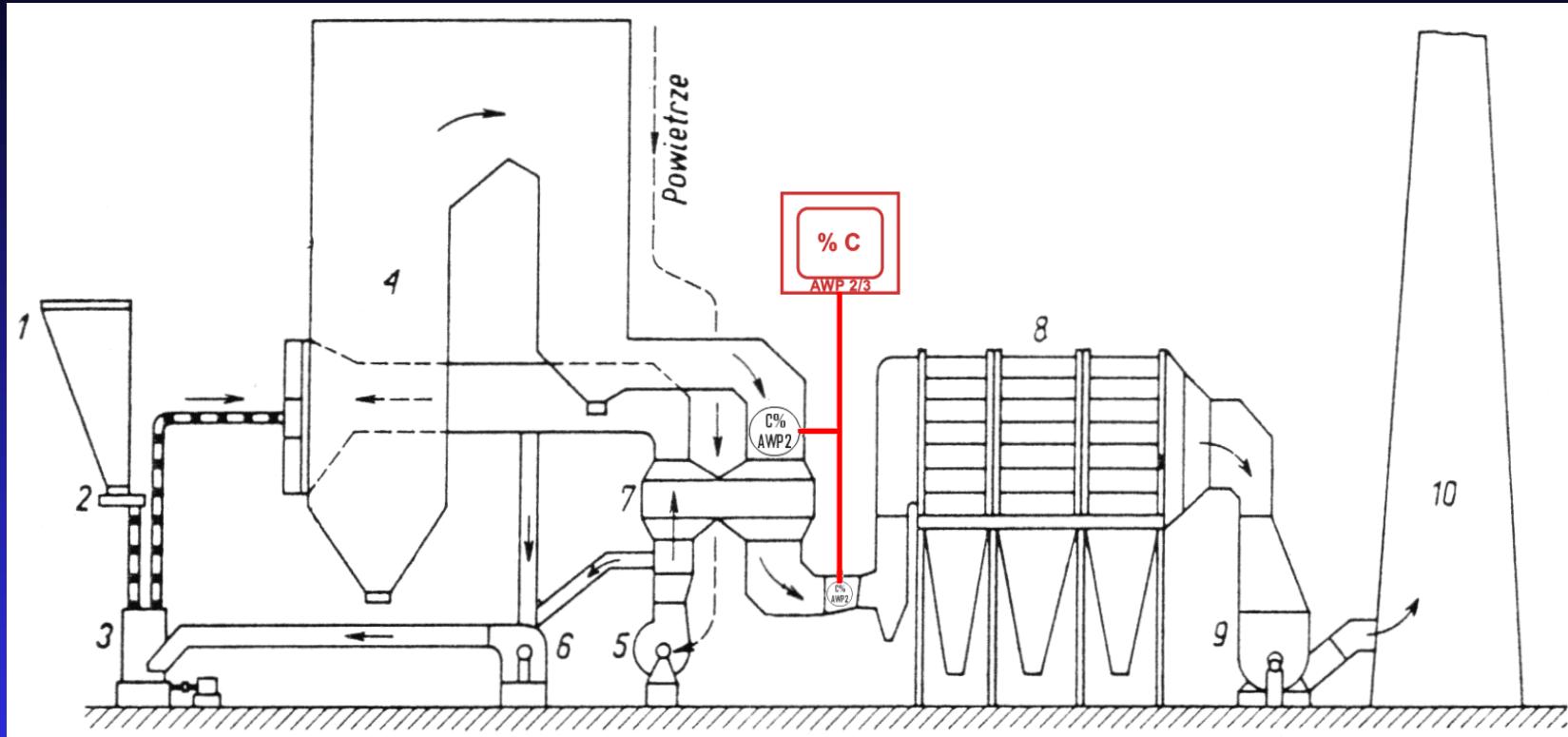
przykłady i perspektywy zastosowań



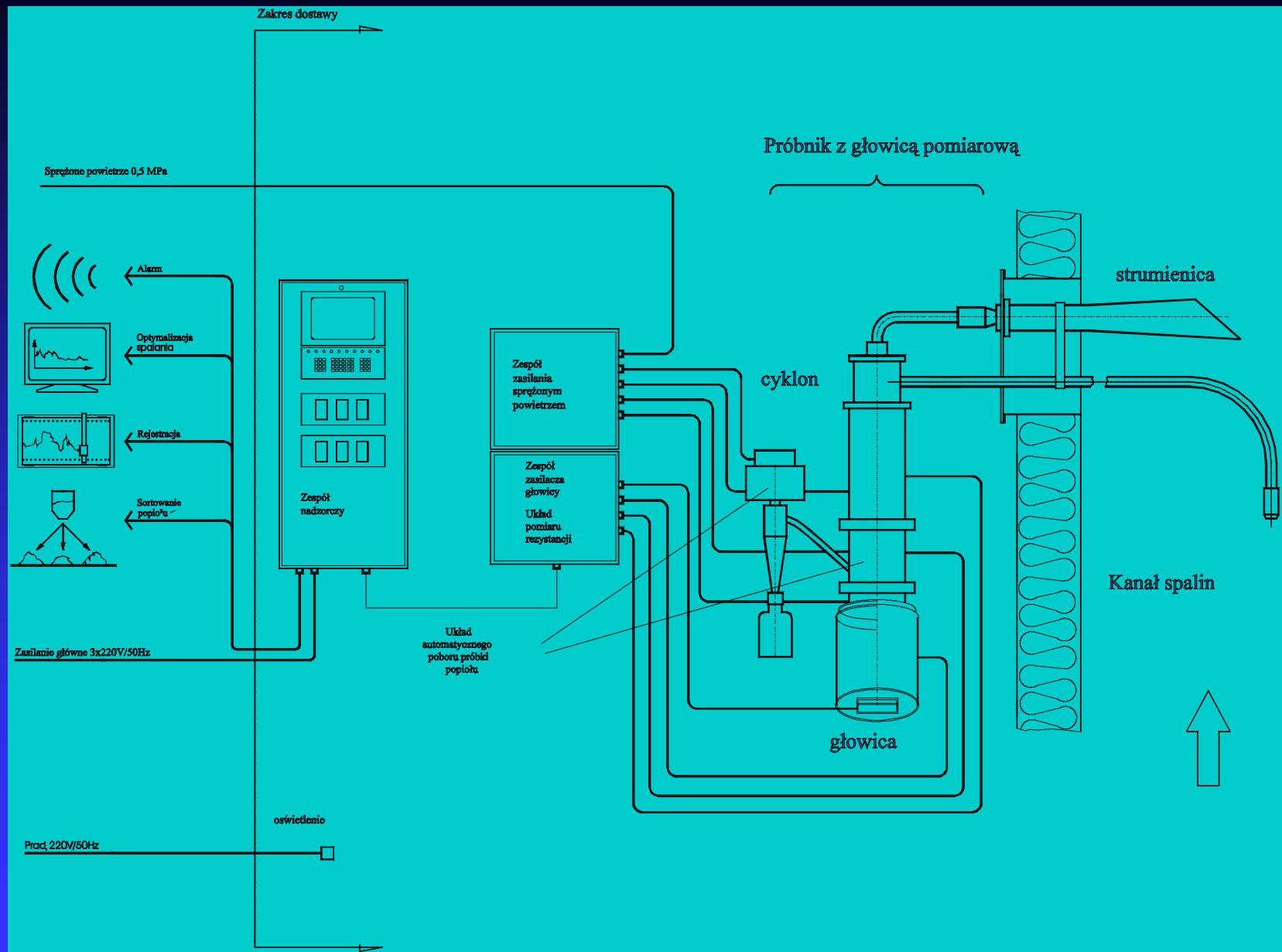
1 - elektrownie przemysłowe; 2 - elektrownie wodne i wiatrowe; 3 - elektrownie zawodowe spalające węgiel brunatny; 4 - elektrownie zawodowe spalające węgiel kamienny; 5 - elektrownie gazowe



I - układ paliwo-powietrze-spaliny; II - układ cieplny (parowo-wodny); III - układ chłodzenia; IV - układ wyprowadzenia mocy; 1 - palenisko; 2 - doprowadzenie paliwa; 3 - doprowadzenie powietrza do spalania; 4 - odprowadzenie żużla i popiołu; 5 - podgrzewacz wody; 6 - parownik; 7 - przegrzewacz pary; 8- odprowadzenie spalin; 9 - turbina; 10 - skraplacz; 11 - pompa skroplin; 12 - zbiornik wody zasilającej; 13 - pompa wody zasilającej; 14 - woda uzupełniająca; 15 - podgrzewacz wody zasilającej; 16 - chłodnia kominowa; 17 - pompa wody chłodzącej; 18 -obfite źródło wody (dla otwartego obiegu chłodzenia); 19 - prądnica; 20 - transformator blokowy; 21 - transformator potrzeb własnych



- 1 - przykotłowy zasobnik węgla; 2 - podajnik węgla;  
 3 - młyn węglowy; 4 - komora paleniskowa; 5 - wentylator powietrza; 6 - wentylator młynowy; 7 - podgrzewacz powietrza; 8 - odpylacz elektrostatyczny (elektrofiltr);  
 9 - wentylator spalin; 10 - komin



## **Przykłady i perspektywy zastosowań:**

**Pierwszoplanowym zastosowaniem analizatora AWP2/3 jest bieżąca kontrola i rejestracja procesu spalania, a także wytworzenie źródła sygnału dla układów automatyki sterowania kotłem.**

**Przyrząd AWP2/3 służy do systematycznego poboru próbek popiołu z kanałów emisyjnych dla laboratorium zakładowego.**

## **Przykłady i perspektywy zastosowań:**

**Analizator AWP2/3 może zostać rozbudowany, stwarzając możliwość bieżącego określania rezystancji popiołu.**

**Analizator AWP2/3 może znaleźć zastosowanie w archiwizacji danych o popiele uzyskiwanym w elektrowni, a więc marketingu tym surowcem.**

**Eksplotacja analizatora AWP2/3 umożliwia znajdowanie przyczyn niecałkowitego spalania w paleniskach pyłowych.**

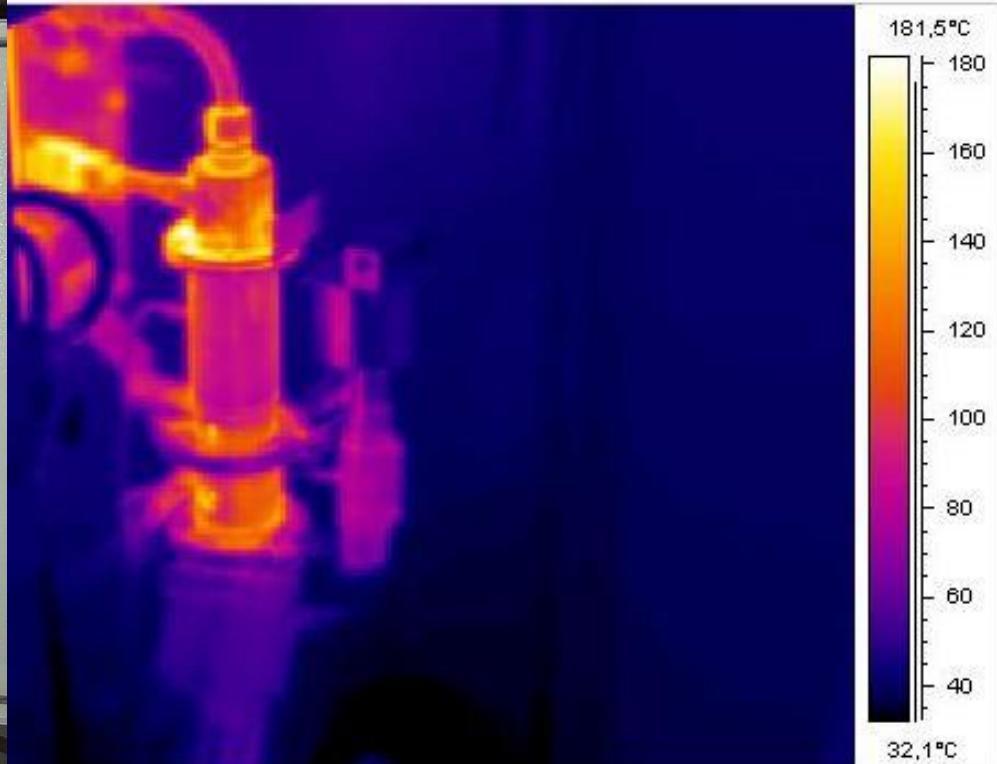
*Fotografie instalacji na obiekcie przemysłowym,  
EC Będzin S.A.:*



*Fotografie instalacji na obiekcie przemysłowym,  
EC Będzin S.A.:*



# *Fotografie instalacji na obiekcie przemysłowym, EC Ostrołęka:*



Rozkład temperatury w AWP kanał 1 (widok z kamery termowizyjnej)

Uczestnictwo w pracach badawczo-rozwojowych na obiektach przemysłowych:  
**Zakład Aparatury Pomiarowej "Kwant"**  
30-316 Kraków, ul.Słomiana 17

tel. .012-2690720

e-mail:[plkwant@poczta.onet.pl](mailto:plkwant@poczta.onet.pl)

**Elektrociepłownia "Będzin" S.A.**

42-500 Będzin, ul. Małobądzka 141

tel.032-2679599,

e-mail:[ec.bedzin@ecb.com.pl](mailto:ec.bedzin@ecb.com.pl)

# **PODSUMOWANIE**

## **I. HARMONOGRAM PRAC:**

1. Badania wstępne i rozeznanie możliwości realizacji - firma ‘KWANT’,  
dr inż.Bogdan Niewczas
2. Grant Celowy KBN Nr 8T 10B 003  
95C/2618, 02.01.1996-31.08.1997, “Kontrola procesu spalania węgla w kotłach energetycznych”
3. Grant Celowy KBN Nr 8T 10B 047  
97C/3766, 01.06.1998-30.04.2000,,  
“Analizator popiołu kotłów energetycznych”

Kierownik grantów prof. Janusz Gołaś,  
AGH, WGGiIŚ

# PODSUMOWANIE

## II. EFEKTY NAUKOWE:

1. Publikacje
  - 6 publikacji  
w tym: 1 krajowa, 1 zagraniczna
2. Patenty – 3 UPRP
3. Konferencja naukowo-techniczna na temat metody pomiarowej i przyrządu
4. Doktorat – dr inż. Katarzyna Styszko,  
promotor prof. Janusz Gołaś
5. Dwie prace magisterskie KE AGH - Artur  
Mirocha, Paweł Żołnierrek, opiekunowie  
Henryk Jankowski, Cezary Worek

Dr inż. Bogdan Niewczas  
Aparatura Pomiarowa KWANT  
Bogdan Niewczas spółka jawna  
NIP: 945-215-83-94  
KRS: 0000385478  
Sąd Rejonowy dla Krakowa  
Śródmieścia w Krakowie  
XI Wydział Gospodarczy KRS  
Tel: +48 12 2690720  
kwant-inst@kwant-inst.pl

Dr inż. Cezary Worek  
Akademia Górnictwo- Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki Informatyki i  
Elektroniki  
al. Mickiewicza 30  
30 - 059 Kraków

## Dotyczy:

wynalazków według patentów o numerach PL-176920, PL-178781 i PL-182474

Niniejszym poświadczam że procentowy udział Pana dra inż. Cezarego Worka w wynalazkach według patentów o numerach PL-176920, PL-178781 i PL-182474 był następujący:

1. Patent o numerze PL-176920 z dnia 1995-06-16 opublikowany 1999-08-31 pt. „Reflektometryczny analizator pyłu unoszonego w strumieniu gazu, zwłaszcza pozostałości węgla w popiele emitowanym w gazach odlotowych z urządzeń grzewczych opalanych węglem kamiennym”. Właściciel: Zakład Aparatury Pomiarowej „KWANT” Sp. z o. o. w Krakowie; wynalazcy: Henryk JANKOWSKI (20%), Cezary WOREK (20%), Janusz Piechna (20%), Bogdan Niewczas (20%), Stefan Wydziatkiewicz (20%).
2. Patent o numerze PL-178781 z dnia 1996-01-15 opublikowany 2000-06-30 pt. „Reflektometryczny analizator pyłu unoszonego w strumieniu gazu, zwłaszcza pozostałości węgla w popiele emitowanym w gazach odlotowych z urządzeń grzewczych opalanych węglem kamiennym”. Właściciel: Zakłady Aparatury Pomiarowej „KWANT” Sp. z o. o. w Krakowie ; wynalazcy: Henryk JANKOWSKI (25%), Cezary WOREK (25%), Bogdan Niewczas, Stefan Wydziatkiewicz (25%).
3. Patent o numerze PL-182474 z dnia 1997-05-06 opublikowany 2002-01-31, pt. „Reflektometryczny analizator pyłu unoszonego w strumieniu gazu, zwłaszcza pozostałości węgla w popiele emitowanym w gazach odlotowych z urządzeń grzewczych opalanych węglem kamiennym”. Właściciel: Zakłady Aparatury Pomiarowej „KWANT” Sp. z o. o. w Krakowie ; wynalazcy: Henryk JANKOWSKI (25%), Cezary WOREK (25%), Bogdan Niewczas (25%), Janusz Piechna (25%).

Z wyrazami poważania

Dr inż. Bogdan Niewczas

APARATURA POMIAROWA  
KWANT Bogdan Niewczas Sp.j.  
31-324 Kraków, ul. Jordanowska 13/3  
NIP 945-215-83-97 Regon 121526010

# Patenty

# **PODSUMOWANIE**

## **III. EFEKTY EKONOMICZNO- PRODUKCYJNE:**

1. Firma „Kwant” jest w kraju dominującym producentem urządzeń do oznaczania zawartości węgla w popiele (AWP2/x)
2. Obecnie w energetyce polskiej pracuje ponad sześćdziesiąt analizatorów wyprodukowanych przez ZAP Kwant,

# PODSUMOWANIE

## III. EFEKTY EKONOMICZNO- PRODUKCYJNE:

2. Sumaryczna wartość sprzedanych systemów przekroczyła 15 000 000,00 PLN netto. Pragnę w tym miejscu podkreślić iż analizatory wyprodukowane przez ZAP Kwant w swoim czasie niemal całkowicie wyparły rozwiązania zagranicznych poddostawców skutecznie konkurując z nimi zarówno w sferze technicznej jak i ceną.

# PODSUMOWANIE

## III. EFEKTY EKONOMICZNO- PRODUKCYJNE:

2. W uznaniu osiągnięć naszego Zakładu i Współautorów analizatora popiołu - produkt ten w 2000 roku został nominowany do nagrody w konkursie "Polski Produkt Przyszłości 2000" - konkursie organizowanym przez rządową Agencję Techniki i Technologii, złoty medal na Targach Poznańskich EXPOPOWER 2008, złoty medal z wyróżnieniem na Targach EUREKA 2007 w Brukseli.

**PRZEMYSŁ KRAJOWY  
JEST PODSTAWOWYM  
LABORATORIUM DLA NAUK  
TECHNICZNYCH**