



LAB-EL Elektronika Laboratoryjna
ul. Herbaciana 9, 05-816 Reguły
WITRYNA: <http://www.label.com.pl/>
POCZTA: info@label.com.pl
TEL. (22) 753 61 30, FAX (22) 753 61 35

Instrukcja użytkowania panelu LB-708

wersja dokumentu 1.1a, maj 2004

*Instrukcja dotyczy paneli z wersją firmware: **1.0***

Nieustanny rozwój naszych produktów stwarza czasem konieczność wprowadzania zmian, które nie są opisane w niniejszej instrukcji.

Spis treści

1	Opis przyrządu	3
1.1	Elementy panelu	3
1.2	Wyposażenie panelu	5
2	Praca z przyrządem	5
2.1	Przygotowanie do pracy	5
2.1.1	Panel <i>LB-708T</i>	5
2.1.2	Panel <i>LB-708TR</i>	5
2.2	Wyświetlanie wyników pomiarów	6
2.2.1	Wyświetlanie w panelu <i>LB-708T</i>	6
2.2.2	Wyświetlanie w panelu <i>LB-708TR</i>	6
2.3	Wyświetlanie dodatkowych informacji	6
2.4	Sondy pomiarowe	7
2.5	Uwagi eksploatacyjne	7
3	Sterowanie urządzeniem wykonawczym	7
3.1	Nastawa regulowanej temperatury	8
4	Parametry techniczne	8
A	Strojenie algorytmu PID	9
A.1	PID – zasada działania	9
A.2	Wybór współczynników algorytmu PID	11
A.3	Wpisanie wyliczonych parametrów	13

1 Opis przyrządu



Rysunek 1: Panel LB-708

Panel *LB-708T* jest przyrządem realizującym dwukanałowy pomiar temperatury, a w wersji *LB-708TR* jednokanałowy pomiar i regulację temperatury. Urządzenie przeznaczone jest do wykorzystania w warunkach stacjonarnych, jego obudowa posiada zaczepty umożliwiające zawieszenie na ścianie. Panel posiada duży, czytelny wyświetlacz LED umożliwiający wyświetlenie dwu wyników. Urządzenie jest zasilane z sieci energetycznej.

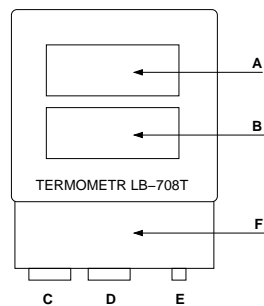
Pomiar temperatury zrealizowano w oparciu o cienkowarstwowe termorezystory platynowe *Pt-1000*, które zapewniają dużą dokładność pomiaru i stałość charakterystyk. Tor pomiarowy temperatury jest kalibrowany przez producenta, a dane kalibracyjne są przechowywane w panelu w postaci cyfrowej.

Panel *LB-708TR* wyposażony jest w wyjście sterujące, które może kontrolować pracą elementu grzewczego. Oprogramowanie panelu realizuje funkcję sterowania bazującą na algorytmie PID. Użytkownik ma możliwość ustawiania żądanej temperatury za pomocą klawiszy bądź potencjometru (w zależności od wykonania).

1.1 Elementy panelu

Rozmieszczenie elementów panelu LB-708T przedstawia rys. 2:

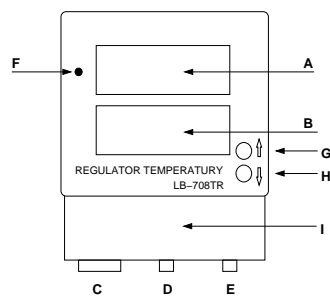
- A wyświetlacz pierwszej temperatury / różnicy temperatur
- B wyświetlacz drugiej temperatury
- C gniazdo sondy pierwszego termometru
- D gniazdo sondy drugiego termometru
- E przepust dla przewodu zasilającego
- F komora połączeniowa



Rysunek 2: LB-708T – elementy panelu

Rozmieszczenie elementów panelu LB-708TR przedstawia rys. 3

- A** wyświetlacz temperatury
- B** wyświetlacz nastawy temperatury
- C** gniazdo sondy termometru
- D** przepust dla przewodu urządzenia wykonawczego
- E** przepust dla przewodu zasilającego
- F** kontrolka pracy urządzenia wykonawczego
- G** klawisz zwiększania nastawy
- H** klawisz zmniejszania nastawy
- I** komora połączeniowa



Rysunek 3: LB-708TR – elementy panelu

1.2 Wyposażenie panelu

Wyposażenie zestawu *LB-708T*:

- ⇒ panel *LB-708T*,
- ⇒ dwie sondy pomiarowe,
- ⇒ niniejsza instrukcja,
- ⇒ świadectwo wzorcowania LAB-EL dla *LB-708T*

Wyposażenie zestawu *LB-708TR*:

- ⇒ panel *LB-708TR*,
- ⇒ sonda pomiarowa,
- ⇒ niniejsza instrukcja,
- ⇒ świadectwo wzorcowania LAB-EL dla *LB-708TR*

Niestandardowym wyposażeniem (na osobne zamówienie) jest:

- ⇒ świadectwo wzorcowania z Głównego Urzędu Miar w Warszawie

2 Praca z przyrządem

2.1 Przygotowanie do pracy

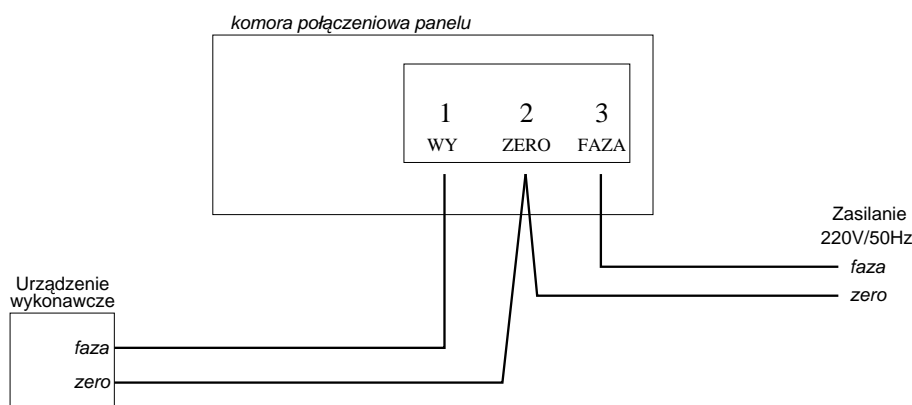
Przed włączeniem zasilania panelu należy wykonać wszystkie potrzebne połączenia elektryczne. Panel nie powinien być włączany bez sond pomiarowych. W czasie pracy panelu nie należy wykonywać żadnych modyfikacji w układzie elektrycznym zestawu – komora połączeniowa panelu powinna pozostawać zamknięta.

2.1.1 Panel *LB-708T*

W przypadku panelu *LB-708T* przygotowanie do pracy polega na dołączeniu obu sond temperatury. Wtyczki sond powinny zostać włączone do gniazd C i D (rys. 2), a ich tulejki dokręcone.

2.1.2 Panel *LB-708TR*

W przypadku panelu *LB-708TR* należy dołączyć jedną sondę do gniazda C (rys. 3) i dokręcić tulejkę. Urządzenie wykonawcze powinno zostać podłączone według następującego schematu:



Należy zwrócić uwagę aby, zarówno przewód zasilający urządzenie wykonawcze jak i przewód zasilający panel, spełniał wymagania obciążeniowe – urządzenie wykonawcze jest zasilane poprzez panel. Panel *LB-708TR* powinien zostać zawieszony w takim miejscu, aby wymiana ciepła pomiędzy radiatorem a otoczeniem nie była utrudniona.

Podłączenie urządzenia wykonawczego powinno być wykonane przez wykwalifikowanego instalatora.

2.2 Wyświetlanie wyników pomiarów

2.2.1 Wyświetlanie w panelu *LB-708T*

W czasie poprawnej pracy panelu na wyświetlaczach pokazywane są naprzemiennie:

- ⇒ temperatura pierwszej i drugiej sondy
- ⇒ różnica temperatur pierwszej i drugiej sondy przy wygaszonym dolnym wyświetlaczu

2.2.2 Wyświetlanie w panelu *LB-708TR*

W czasie poprawnej pracy panelu na górnym wyświetlaczu pokazywana jest aktualna temperatura sondy, na dolnym nastawa temperatury dla regulatora.

2.3 Wyświetlanie dodatkowych informacji

Błędy wyników pomiaru Błędy pomiaru sygnalizowane są miganiem wartości wyniku na wyświetlaczu. Błąd pomiarowy może być spowodowany uszkodzeniem sondy, przekroczeniem zakresu pomiaru, uszkodzeniem układu pomiarowego panelu bądź utratą danych kalibracyjnych.

Komunikaty o błędach W sytuacji, kiedy w czasie autotestów panel zdetekuje błąd sprzętu albo konfiguracji, wyświetlana jest informacja o rodzaju błędu:

- ⇒ CAL Err – błąd danych kalibracyjnych,
- ⇒ Cn1 Err – błąd danych konfiguracyjnych,

- ⇒ Cn2 Err – błąd danych konfiguracyjnych,
- ⇒ Ad Err – błąd w torze pomiaru temperatury,
- ⇒ Prb Err – błąd sondy

W przypadku wystąpienia któregoś z opisywanych błędów należy wyłączyć zasilanie panelu i po odczekaniu ok. minuty włączyć ponownie. Częste albo ciągłe występowanie błędu oznacza uszkodzenie urządzenia i konieczność interwencji serwisu.

Sygnalizacja pracy urządzenia wykonawczego Migająca kontrolka F (rys. 3) sygnalizuje pracę urządzenia wykonawczego. Kontrolka miga co 1 sek. – krótkie okresy zapalenia i dłuższe wygaszenia oznaczają małą moc sterowania i vice-versa.

2.4 Sondy pomiarowe

Panel *LB-708T* gwarantuje dużą dokładność pomiaru temperatury, co jest efektem zastosowania czujników dobrej jakości oraz przeprowadzenia fabrycznej kalibracji. Aby utrzymać wysoką dokładność pomiarów niezbędne jest zachowywanie kompletności układu w takiej formie, w jakiej dostarczono go fabrycznie. Nie można zamieniać miejscami sond (dotyczy panelu *LB-708T*) ani wymieniać sond pomiędzy panelami. Nie zachowanie opisanych warunków spowoduje zwiększenie niepewności pomiaru.

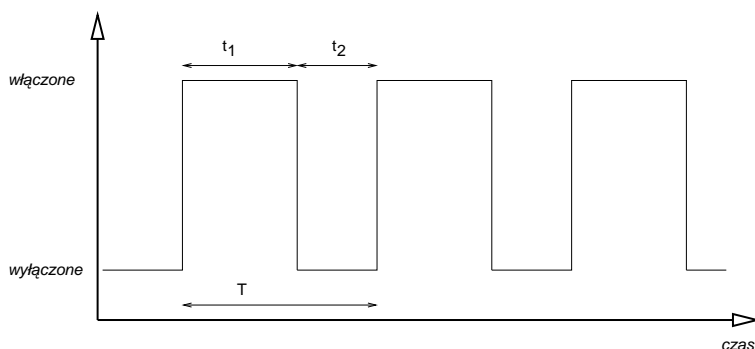
Zmiana parametrów metrologicznych przyrządu następuje również w czasie. Starzenie materiałów użytych do konstrukcji termometru wpływa na zwiększenie błędu pomiaru. Aby mieć pewność dobrego pomiaru należy poddawać przyrząd okresowym kontrolom połączonym z ewentualną z rekalicacją. Do kontroli przekazywać należy sondy wraz z panelem.

2.5 Uwagi eksploatacyjne

- ⇒ Nie należy dopuścić do zamoczenia panelu ani wykroplenia na nim rosy.
- ⇒ Panel nie wymaga konserwacji.
- ⇒ Nie należy przekraczać maksymalnego dopuszczalnego obciążenia prądowego przyłączonego urządzenia wykonawczego.
- ⇒ Sugeruje się wykorzystywanie firmowego okablowania do połączeń komunikacyjnych – dodatkowe akcesoria (przedłużacze, separatory) można zamówić u producenta panelu.

3 Sterowanie urządzeniem wykonawczym

Panel *LB-708TR* jest przystosowany do sterowania grzejącym urządzeniem wykonawczym. Ze względu na charakter sterowania urządzenie grzejne powinno mieć charakter rezystancyjny (np. grzałka oporowa). Panel zapewnia wielostopniową regulację mocy poprzez włączanie i wyłączanie dopływu prądu do grzałki z okresem 1 sek. Kształtowanie współczynnika wypełnienia impulsów sterujących przekłada się na średnią moc doprowadzaną do urządzenia wykonawczego. Rysunek poniżej ilustruje sposób regulacji.



Parametr $T = 1 \text{ sek}$, współczynnik wypełnienia określony jako $\tau = \frac{t_1}{T}$ przekłada się na moc grzania. Sterowanie mocą jest kontrolowane algorytmem PID i ma na celu wybranie optymalnej mocy potrzebnej do szybkiego dogrzenia obiektu do zadanej wartości temperatury, a następnie utrzymanie temperatury obiektu w wartości bliskiej nastawie.

Aby regulator spełniał dobrze swoje funkcje, po zainstalowaniu sprzętu na obiekcie należy wykonać strojenie algorytmu PID. Parametry algorytmu zależą bezpośrednio od obiektu – ich nieodpowiednie dobranie może się objawiać nie trzymaniem zadanej temperatury, bądź długim czasem dochodzenia do wartości nastawionej.

3.1 Nastawa regulowanej temperatury

Korzystając z klawiszy G i H (rys. 3) można wykonać nastawę docelowej temperatury obiektu. Dolny wyświetlacz panelu pokazuje zawsze aktualną nastawę. Nastawa jest zapamiętywana w nieulotnej pamięci przyrządu, nie znika więc po wyłączeniu zasilania. Moment zapamiętania nastawy następuje ok. 5 sek. po ostatnim naciśnięciu klawisza.

4 Parametry techniczne

parametry metrologiczne: pomiar temperatury		
zakres pomiaru	-40...+150 °C	★)
niepewność pomiaru	±0.5 °C	bez kalibracji sond
	±0.1 °C	z kalibracją sond
cykl pomiaru	~2 s	LB-708T
cykl pomiaru	1.2...1.5 s	LB-708TR

★) Zakres pomiarowy termometru jest dodatkowo ograniczony przez typ zastosowanego czujnika temperatury i jego przewodu przyłączeniowego, zgodnie z zakresem podanym w specyfikacji danych technicznych dotychczasowego czujnika

parametry techniczne panelu		
zakres temperatur pracy	0...40 °C	
zakres wilgotności pracy	20...80 %	
stopień agresywności korozyjnej środowiska w/g PN-71/H-04651	B	
zasilanie	220V/50Hz/10VA	
klasa odporności w/g DIN40050	IP40	
obciążalność wyjścia sterującego urządzenie wykonawcze	10A	
rodzaj sterowanego urządzenia wykonawczego	rezystancyjne	
wymiary zewnętrzne panelu	180x130x106 mm	

A Strojenie algorytmu PID

Strojenie parametrów algorytmu PID wykonuje się za pomocą komputera PC z zainstalowanym programem narzędziowym **i706.exe**. Przed wykonaniem strojenia należy połączyć panel z komputerem wykorzystując do tego przewód komunikacyjny. Jedną wtyczkę przewodu włącza się w gniazdo komunikacyjne panelu (typu RJ, po lewej stronie w komorze połączeniowej), drugą do gniazda portu szeregowego komputera (Cannon DB-9). Połączenie panelu z komputerem wykonuje się przy wyłączonym zasilaniu i komputera, i panelu.

W czasie strojenia włączone jest zasilanie panelu przy otwartej komorze połączeniowej – należy zwracać uwagę na to, aby nie doszło do porażenia prądem.

Instalacja programu narzędziowego w trybie serwisowym z dostępem do opcji ustawień panelu *LB-708* polega na jednokrotnym wywołaniu programu **i706.exe** z kluczem **-z**:

```
i706 -z
```

Po takim wywołaniu program zapyta o hasło – hasło zostało dołączone do dyskietki z programem – należy je wpisać. Przy ponownym pytaniu programu o hasło (hasło#2) nie należy nic wpisywać tylko nacisnąć klawisz enter. Program zostanie uruchomiony z dostępem do opcji *LB-708*. Przy ponownym uruchamianiu programu nie trzeba już wpisywać hasła, ponieważ odpowiednie informacje zostają zachowane na dysku.

A.1 PID – zasada działania

Algorytm PID na bieżąco analizuje sygnał wejściowy (temperaturę obiektu) i na tej podstawie wyznacza sygnał sterujący urządzeniem wykonawczym. Analiza sygnału wejściowego przeprowadzana jest pod względem:

- ⇒ odchyłki od wartości zadanej: człon proporcjonalny (P) – sygnał sterujący jest proporcjonalny do uchybu sterowania,
- ⇒ historii uchybu sterowania: człon integracyjny (I) (inaczej: całkujący) – sygnał sterujący jest tym większy im uchyb jest większy i występował przez dłuższy czas w przeszłości,
- ⇒ historii zmian sygnału wejściowego: człon derywacyjny (D) (inaczej: różniczkujący) – sygnał sterujący jest tym większy im aktualnie i w przeszłości sygnał wejściowy szybciej malał.

Ilościowo algorytm zaimplementowany w sterowniku ilustrują wzory:

$$CV = CV_p + CV_i[n] + CV_d[n]$$

gdzie CV jest wartością sygnału sterującego, i:

$$CV_p = K_p * (B * SP - PV)$$

gdzie:

- ⇒ CV_p jest wartością proporcjonalnego sygnału sterowania
- ⇒ K_p jest współczynnikiem wzmocnienia proporcjonalnego sygnału sterowania
- ⇒ B jest współczynnikiem skalującym nastawę

- ⇒ SP jest aktualną nastawą
- ⇒ PV jest aktualną wartością sygnału wejściowego

$$CV_i[n] = K_i * \frac{T_i * CV_i[n-1] + dt * (SP - PV)}{T_i + dt}$$

gdzie:

- ⇒ $CV_i[n]$ jest wartością integracyjnego sygnału sterowania w obecnej chwili
- ⇒ K_i jest współczynnikiem wzmocnienia integracyjnego sygnału sterowania
- ⇒ T_i jest czasem integracji
- ⇒ $CV_i[n-1]$ jest wartością integracyjnego sygnału sterowania w poprzednim kroku
- ⇒ dt jest krokiem czasowym – odstępem czasu pomiędzy poprzednim a obecnym wyznaczeniem sygnału sterującego

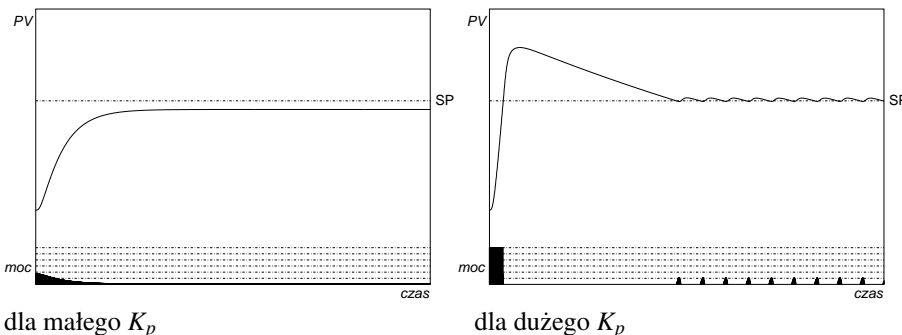
$$CV_d[n] = K_d * \frac{T_d}{T_d + N * dt} * (CV_d[n-1] - N * (PV - PV[n-1]))$$

gdzie:

- ⇒ $CV_d[n]$ jest wartością derywacyjnego sygnału sterowania w obecnej chwili
- ⇒ K_d jest współczynnikiem wzmocnienia derywacyjnego sygnału sterowania
- ⇒ T_d jest czasem derywacji
- ⇒ N jest współczynnikiem zmieniającym wagę ostatniej różnicy
- ⇒ $CV_d[n-1]$ jest wartością derywacyjnego sygnału sterowania w poprzedniej chwili
- ⇒ $PV[n-1]$ jest wartością sygnału wejściowego w poprzedniej chwili

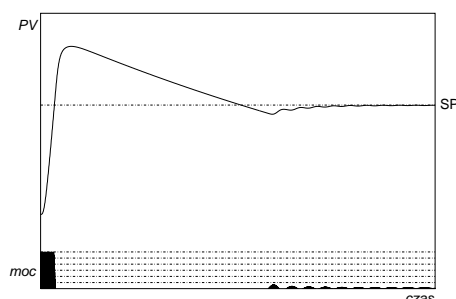
W uproszczonym modelu PID przyjmujemy, że $B = N = 1$.

Człon proporcjonalny wpływa na redukcję uchybu regulacji, ale samodzielnie nigdy nie zniweluje go do zera, może wprowadzić oscylacje. Człon integracyjny redukuje uchyb do zera, ale wprowadza pewne przeregulowania aż do wystąpienia oscylacji włącznie. Dodanie członu derywacyjnego niweluje przeregulowania i oscylacje. W sterowniku typu P (wtedy gdy $K_i = K_d = 0$) można spodziewać się następującej odpowiedzi układu:

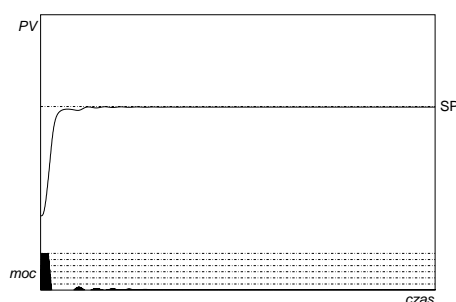


Dla małego K_p występuje tu stosunkowo długi czas narastania sygnału PV do wartości bliskiej nastawie SP , ostatecznie wartość PV nie dochodzi do SP . Dla dużego K_p można spodziewać się oscylacyjnej odpowiedzi, dla bardzo dużych K_p oscylacje mogą być niegasnące.

Po dołączeniu członu integracyjnego ($K_p \neq 0$, $K_i \neq 0$, $K_d = 0$) następuje pozbycie się ostatecznego uchybu regulacji w stanie stabilnym. Niestety występują zazwyczaj również prze-regulowania albo oscylacje. Przykładowy przebieg dla sterownika PI:



Ostatecznie dołączając człon derywacyjny można zminimalizować nieporządane oscylacje i uzyskać optymalny wynik regulacji. Rysunek poniżej pokazuje przebieg dla sterownika PID, gdzie $K_p \neq 0$, $K_i \neq 0$, $K_d \neq 0$.



A.2 Wybór współczynników algorytmu PID

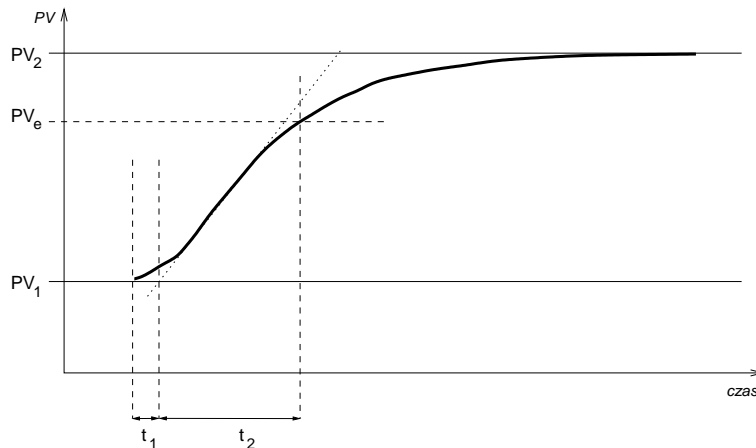
Aby poprawnie wyznaczyć współczynniki sterowania PID należy poznać charakterystykę sterowanego obiektu. Parametry T_i oraz T_d będą zależęć głównie od stałej czasowej procesu nagrzewania obiektu, zaś parametry K_p , K_i , K_d od mocy zastosowanego urządzenia grzejjego. Parametry B oraz N będą równe 1.

Pierwszą niezbędną czynnością jest ustalenie zachowania obiektu przy otwartej pętli regulacji (wyłączonym algorytmie). Należy przeprowadzić eksperyment w którym zbada się jak szybko układ odpowiada na skokowy przyrost sterowania mocą urządzenia grzejjego oraz o ile zmieni się temperatura układu przy zwiększeniu mocy sterowania o pewną niewielką wartość.

Korzystając z programu narzędziowego:

- ⇒ wchodzimy z poziomu menu głównego do okna *ustawień panelu LB-708* (**Alt+S** ⇒ Ustawienia panelu LB-708)
- ⇒ wykonujemy ręczną nastawę sterowania CV_1 (**Alt+C**) na niewielką wartość kilku... kilkunastu procent (po wykonaniu ręcznej nastawy algorytm PID zostaje zablokowany i wpisana wartość CV_1 pozostaje stała)
- ⇒ czekamy na stabilizację odczytu temperatury (wartości PV)
- ⇒ notujemy stabilny odczyt temperatury jako wartość PV_1

- ⇒ wykonujemy ponowną ręczną nastawę wartości CV_2 , która jest większa od CV_1 w niewielkim stopniu, ale wystarczająco dużym by zaobserwować w efekcie wyraźną zmianę temperatury (np. $CV_2 = CV_1 + 10$)
- ⇒ od momentu wpisania wartości CV_2 notujemy wskazania PV (temperatury) tak, aby można było narysować (w miarę dokładnie) wykres jak na wzorze poniżej



- ⇒ ustalamy czas t_1 jako czas reakcji układu na zmianę wartości sterowania (początek czasu t_1 to moment ustawienia wartości PV_2 , koniec czasu t_1 wyznacza przecięcie stycznej do wykresu temperatury w punkcie $\frac{1}{3}$ pomiędzy wartością PV_1 a PV_2 z osią PV_1)
- ⇒ ustalamy czas t_2 jako stałą czasową układu (początek czasu t_2 liczony od końca t_1 , koniec t_2 wyznacza osiągnięcie przez temperaturę wartości $PV_e = 63\%$ pomiędzy PV_1 a PV_2)
- ⇒ ustalamy wzmocnienie K_0 układu z otwartą pętlą jako $K_0 = \frac{PV_2 - PV_1}{CV_2 - CV_1}$

Po wyznaczeniu charakterystycznych dla układu parametrów, za pomocą metody Zieglera-Nicholsa wyliczyć należy parametry algorytmu.

W przypadku stosowania wyłącznie sterowania proporcjonalnego (P) parametry powinny być zbliżone do następujących:

$$K_i = K_d = 0$$

$$K_p = \frac{t_2}{K_0 * t_1}$$

Gdy regulator pracuje jako PI:

$$K_d = 0$$

$$K_p = 0.9 * \frac{t_2}{K_0 * t_1}$$

$$K_i = K_p$$

$$T_i = 3.3 * t_1$$

Gdy regulator pracuje jako PID:

$$K_p = 1.55 * \frac{t_2}{K_0 * t_1}$$

$$K_i = K_d = K_p$$

$$T_i = 2 * t_1$$

$$T_d = \frac{1}{2} * t_1$$

Wyznaczone w ten sposób wartości nie są zapewne idealne, mogą jednak stanowić dobry punkt startowy do dalszych modyfikacji.

A.3 Wpisanie wyliczonych parametrów

Posługując się w dalszym ciągu *programem narzędziowym* wpisujemy wyznaczone parametry do pamięci panelu - będąc w oknie *Ustawień panelu LB-708* wybieramy **Alt+P** i korzystając z okienka parametrów dokonujemy wpisu. Następną operacją jest odblokowanie wartości sterującej CV: wybrać należy **Alt+C** a następnie z listy *zdjęcie blokady CV*. Panel jest gotowy do pracy.