

BADANIA REGULATORÓW BEZPOŚREDNIEGO DZIAŁANIA

KD:536.58
IF:3.2.3.1

Artykuł omawia znaczenie prac badawczych dla rozwoju konstrukcji regulatorów bezpośredniego działania oraz braki w zakresie opracowań normujących problematykę prac badawczych. Wiele miejsca poświęcono badaniom zmęczeniu i eksploatacyjnym, jak również badaniom obiektów regulacji i przebiegów procesów regulacyjnych. Opisy technologii prac badawczych ilustrowane są wynikami badań regulatorów konstrukcji SPEC.

1. W s t ę p

Wszystkim technikom i ekonomistom ogólnie znana jest zależność tempa rozwoju techniki od rozwoju zaplecza badawczo-doświadczalnego.

Pod pojęciem zaplecza badawczo-doświadczalnego należy oczywiście rozumieć nie tylko potencjał materialny w postaci odpowiedniej ilości stanowisk badawczych zaopatrzonych we właściwy sprzęt pomiarowy, ale również posiadany zasób wiedzy w zakresie metodyki i technologii prac badawczych.

Zależność ta jest szczególnie silna w zakresie rozwoju produkcji urządzeń regulacyjnych i pomiarowych, toteż przede wszystkim w tej dziedzinie techniki istnieje poważna potrzeba nadania zagadnieniu prac badawczych odpowiedniej rangi. Potrzeba ta jest tym pilniejsza, że niedocenianie dotychczas wagi tego zagadnienia powoduje z jednej strony wypuszczenie na rynek krajowy, a czasem nawet zagraniczny, produktów zupełnie nieprzydatnych lub obciążonych szeregiem wad, z drugiej zaś niewłaściwe wykorzystanie produkowanych urządzeń.

Wynikające z tego tytułu straty obciążają zarówno producentów, jak i odbiorców urządzeń, przy czym odbiorcy narażeni są często na dodatkowe straty związane z zakłóceniami regulowanych /a w rzeczywistości nieregulowanych lub źle regulowanych/ procesów oraz z kłopotliwym wielokrotnym montażem i demontażem urządzeń regulacyjnych i pomiarowych.

Niniejszy artykuł pomija zagadnienie konieczności szybkiego rozwoju bazy materialnej dla prac badawczo-doświadczalnych w przekonaniu, że problem ten jest przedmiotem serdecznej troski czynników odpowiedzialnych za ten odcinek polityki gospodarczej i koncentruje uwagę przede wszystkim na sprawach niezbędnego zakresu oraz technologii prac badawczych.

Aktualny stan opracowań w tym zakresie jest na tyle niedostateczny, że stwarza konieczności wszechstronnego i kompleksowego opracowania tego zagadnienia, w sposób umożliwiający opracowanie szeregu wytycznych oraz odpowiednich aktów normatywnych.

Tego rodzaju akty normatywne nadadzą odpowiednią rangę zagadnieniu prac badawczych oraz umożliwią ujednoczenie i optymalizację metod badawczych, co jest niezbędne do uzyskania jednoznaczności i porównywalności wyników różnych badań.

Problem ten jest oczywiście zbyt szeroki, aby można go było omówić wyczerpująco w tym krótkim artykule. Dlatego autor ograniczył się jedynie do poruszenia zagadnienia różnorodności wymogów stawianych pracom badawczym i przykładowego omówienia różnego typu badań przeprowadzonych w Ośrodku Badawczo-Doświadczalnym SPEC.

Dla jasności wyводу, ograniczono się jedynie do zaprezentowania badań nad jednym rodzajem regulatora. Regulatorem tym jest jednoczesowy dwumieszkowy zespół termometryczny połączony z jednogrybkowym, odciążonym zaworem jedno- lub dwudrogowym. Konstrukcja ta została dokładnie omówiona w artykule mgr inż. J. Dobrzańskiego pt. "Samoczynne regulatory bezpośredniego działania opracowane w SPEC dla potrzeb ciepłownictwa i związane z tym problemy technologiczne", również znajdującym się w niniejszym Biuletynie.

2. Wymogi stawiane pracom badawczym w zakresie urządzeń regulacyjnych

Klasyfikacja prac badawczych w zakresie urządzeń regulacyjnych wynika bezpośrednio z celów, jakie chce się osiągnąć w rezultacie przeprowadzonych badań.

Cele te narzucają nie tylko zakres przeprowadzanych badań, ale sugerują również właściwą technologię przeprowadzania poszczególnych badań. Podstawowymi celami, którym służą prace badawcze jest:

- opracowanie nowych oraz udoskonalenie istniejących konstrukcji regulatorów,
- pełniejsze i właściwsze wykorzystanie produkowanych urządzeń,
- kontrola danych technicznych oraz jakości produkowanych urządzeń.

Opracowanie nowych oraz udoskonalenie istniejących konstrukcji regulatorów wymaga pełnej znajomości właściwości technicznych stosowanych dotychczas urządzeń regulacyjnych oraz wszechstronnych informacji o warunkach, w których ma pracować konstruowane urządzenie.

Analogiczna wiedza potrzebna jest również do właściwego wykorzystania produkowanych dotychczas urządzeń.

Badania właściwości technicznych regulatorów nie mogą jednak ograniczać się jedynie do zdjęcia podstawowych charakterystyk statycznych i dynamicznych oraz wykonania odpowiednich prób ciśnieniowych, lecz muszą obejmować również badanie właściwości eksploatacyjnych dotyczących przede wszystkim:

- odporności na korodujące działanie ośrodka regulowanego, regulującego i otaczającego,
- odporności na oddziaływanie mechaniczne wynikające zarówno z samej pracy urządzenia, jak również mające swoje źródło poza urządzeniem,
- niezawodności działania,
- długowieczności pracy,
- stałości poszczególnych parametrów technicznych charakteryzujących urządzenie,
- wymogów w zakresie obsługi i konserwacji urządzeń.

Uzyskanie tych danych wymaga często wieloletnich prac badawczych przeprowadzanych bezpośrednio w warunkach normalnej eksploatacji lub na stanowiskach modelujących normalną lub pogorszone warunki pracy urządzenia.

Informacje o rzeczywistych warunkach pracy urządzenia muszą obejmować nie tylko znajomość brzegowych oraz średnich parametrów czynnika regulującego, regulowanego oraz otaczającego urządzenia, ale zawierać również szczegółową charakterystykę obiektu regulacji pozwalającą określić przebieg regulowanego procesu, który jest wynikiem współzależności statycznych i dynamicznych charakterystyk regulatora i obiektu regulacji.

Ustalenie przebiegu procesu regulowanego osiągnąć można doświadczalnie poprzez rejestrację parametru regulowanego w funkcji czasu oraz rzeczywistych bądź specjalnie programowanych zmian wielkości zakłócających. W przypadku współpracy rozpatrywanego regulowanego procesu z innym procesem regulowanym bądź nieregulowanym konieczne jest dodatkowe określenie wzajemnego oddziaływania tych procesów.

Z uwagi na dużą różnorodność obiektów regulacji oraz złożoność regulowanych procesów, utrudniającą ustalenie właściwych kryteriów podobieństwa, prowadzone w tym zakresie prace badawcze obejmować muszą obiekty różnych typów i wielkości zaopatrzone w urządzenia regulacyjne różnych wielkości.

Zagadnienie badań eksploatacyjnych regulatorów oraz badań procesów regulacyjnych w aspekcie współpracy regulatorów i obiektów regulacji nie było dotychczas przedmiotem żadnych opracowań normatywnych, bądź wytycznych, a nawet brak jest wszelkich nowszych pozycji monograficznych poruszających szerzej to zagadnienie.

Obecnie przepisami normatywnymi ujęte są jedynie badania kontrolne i odbiorcze, do których zobowiązani są producenci urządzeń regulacyjnych, w celu zapewnienia gwarantowanej jakości regulatorów oraz zgodności danych technicznych z warunkami technicznymi.

Odpowiednimi w tym zakresie normatywami są opracowane w ramach RWPG "Warunki techniczne na gałąź URS zawierającą przyrządy i urządzenia pracujące bez użycia energii pomocniczej" oraz jedno-brzmiający w tym fragmencie tekst analogicznego projektu Polskiej Normy.

W przepisach tych ustalono również sposób przeprowadzania szeregu badań podstawowych, a mianowicie:

- badania regulatorów na wytrzymałość mechaniczną i szczelność materiału,
- prób szczelności regulatorów,
- sprawdzania współczynnika przepływu K,
- określania charakterystyki przepływowej regulatora /wielkość regulowana - przepływ/,
- określania charakterystyki statycznej /wielkość regulowana przesunięcie organu wykonawczego/,
- sprawdzania zakresu proporcjonalności,
- sprawdzania zakresów nastaw,
- ustalania strefy nieczułości,
- sprawdzania przecieku organu zawierającego /grzybek-gniazdo/,
- wyznaczania stałej czasowej.

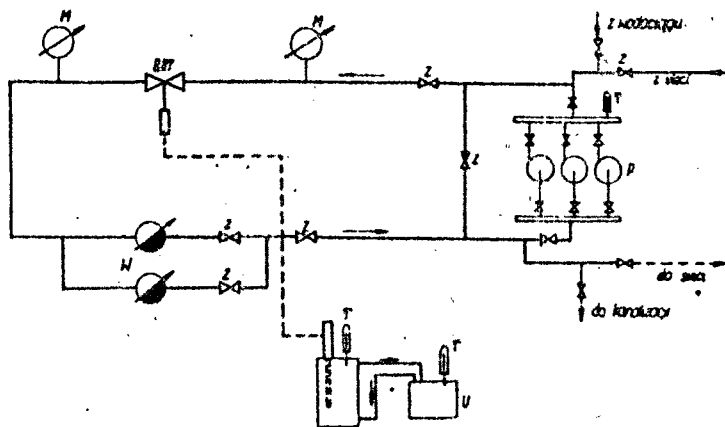
3. Opis technologii niektórych prac badawczych w zakresie regulatorów temperatury przeprowadzanych w Ośrodku Badawczo-Doświadczalnym SPEC

Obecnie postaramy się przedstawić w jaki sposób omówione uprzednio różne typy prac badawczych realizowane są w praktyce w Ośrodku Badawczo-Doświadczalnym SPEC w zakresie opracowywanych u nas konstrukcji regulatorów.

Aby nie rozpraszać uwagi na badania różnego typu regulatorów skoncentrujemy się jedynie na badaniach jednego typu regulatora temperatury, wykonywanego dla potrzeb regulacji temperatury c.w. zarówno w wersji z zaworem jednodrogowym, jak i dwudrogowym.

3.1. Określenie podstawowych charakterystyk regulatorów

Schemat stanowiska do badania jednodrogowych regulatorów temperatury przedstawiono na rysunku 1. Stanowisko to po pewnej niewielkiej adaptacji może być wykorzystane do badania regulatorów dwudrogowych. Obieg wody przez stanowisko uzyskuje się wykorzystując różnicę ciśnienia w sieci ciepłowniczej lub za pomocą układu pompowego pracującego w obiegu zamkniętym.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania jednodrogowych regulatorów temperatury

Układ pompowy składa się z trzech pomp typu Z720 o wysokości podnoszenia $H = 54 \text{ m H}_2\text{O}$ i wydatku $Q = 500 \text{ l/min}$. Pompy te można łączyć ze sobą w sposób szeregowy, równoległy lub szeregowo-równoległy /dwie równoległe, trzecia w szereg./ dzięki czemu można osiągnąć dowolne wydatki i różnice ciśnień.

Odpowiednią wielkość ciśnienia statycznego w obiegu osiąga się przez połączenie kolektora wejściowego pomp z siecią wodociągową lub siecią ciepłą.

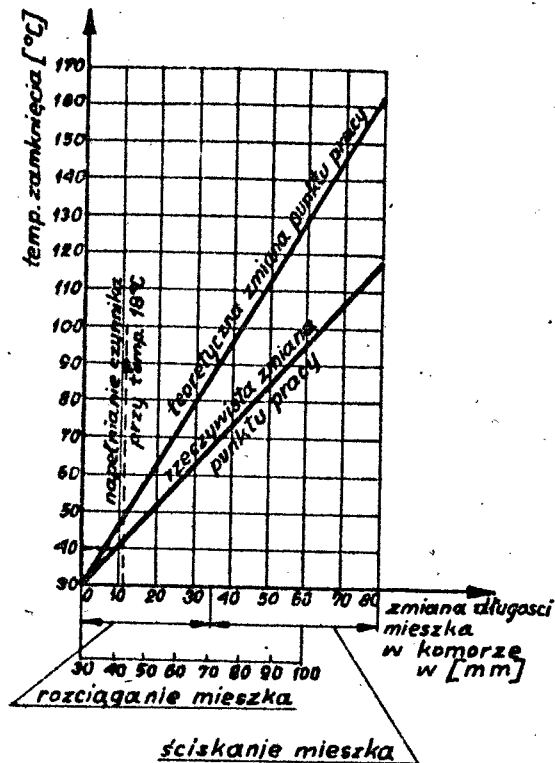
Układ przewodów, na którym jest zamontowany zawór termoregulatora, zaopatrzone jest dodatkowo w przewód bocznikujący, zawory regulacyjne i przyrządy pomiarowe.

Czujnik termoregulatora zamontowano w kieszeni wyposażonej w termometr i połączonej z ultratermostatem zaopatrzonym w dodatkowe grzałki. Przy zdejmowaniu charakterystyk dynamicznych konieczne jest zastosowanie drugiego układu termostatycznego.

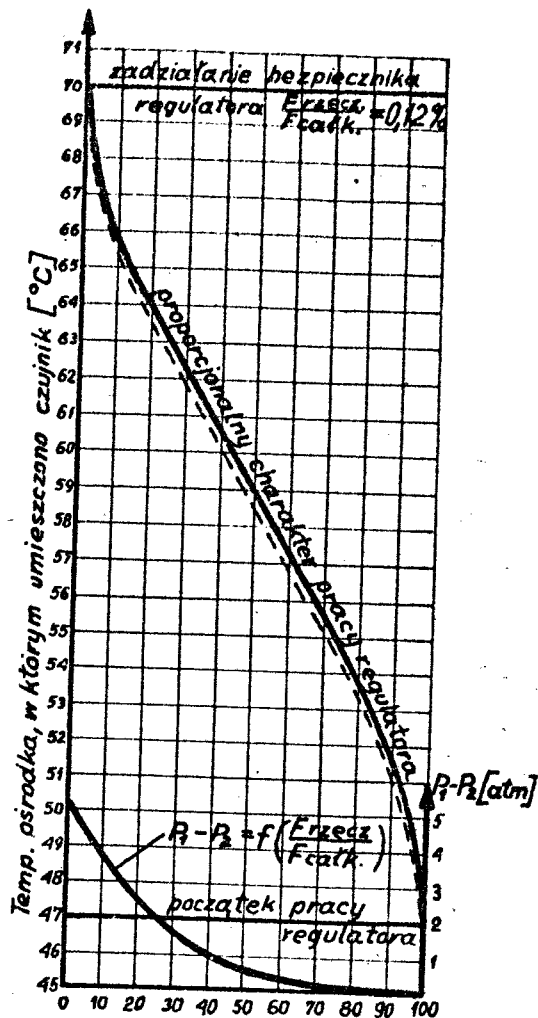
Stanowisko to umożliwia określenie wszystkich podstawowych charakterystyk regulatora. Przykładowe charakterystyki regulatora jednodrogowego $\varnothing 50$ przedstawiono na kolejnych wykresach.

Pierwszy wykres podany na rys. 2 obrazuje sprawdzenie zgodności skali nastawnika z rzeczywistą zmianą punktu pracy. Na wykresie tym widać zbieżność rzeczywistej zmiany punktu pracy ze skalą nastawnika pomimo znacznej rozbieżności teoretycznie określonej zmiany punktu pracy wraz ze zmianą nastawy.

Następny wykres rys. 3 przedstawia podstawową charakterystykę statyczną określającą zmianę procentowego stopnia otwarcia układu zawierającego /grzybek-gniazdo/ w funkcji zmiany temperatury. Charakterystyka ta pozwala również na określenie obszaru proporcjonalności regulatora stanowiącego wymaganą zmianę wielkości regulowanej, niezbędną do spowodowania pełnego przesunięcia organu wykonawczego z jednego położenia skrajnego w drugie.



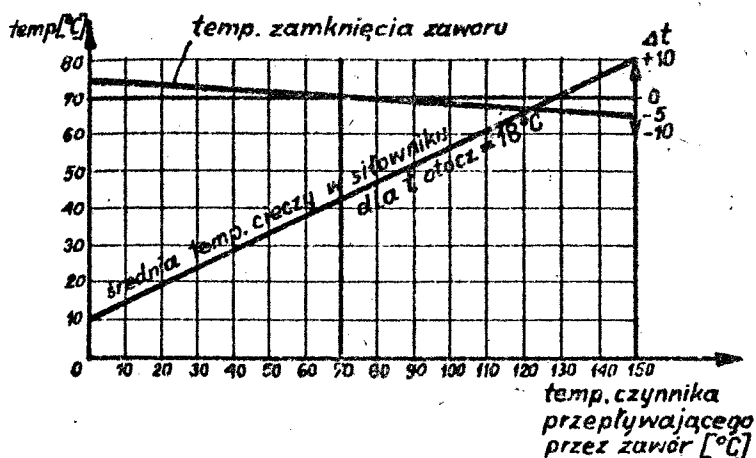
Rys. 2. Zmiana punktu pracy regulatora w zależności od zmiany pojemności komory mierniczej wyrażonej zmianą długości mieszka od jego maksymalnego rozciągnięcia. Na wykresie zaznaczono zakres rozciągania i ściskania mieszka przy proponowanej długości mieszka $l = 290$ mm oraz objętości komory mierniczej przy której należy napełniać mieszki w temperaturze otoczenia $t_{otocz.} = 18^{\circ}\text{C}$



Rys. 3. Charakterystyka pracy regulatora $\frac{Frzech}{Fcałk} \text{ \%} = f \text{ /t/}$

/Linia ciągłą zaznaczono krzywą zamykania; cienką linią przerywaną krzywą obiegania. Dla następujących warunków zmiana różnicy ciśnień $P_1 - P_2 = f \frac{Frzech}{Fcałk}$ jak na wykresie. Nastawiona temperatura zamknięcia zaworu $+70^{\circ}\text{C}$. Temperatura czynnika przepływającego przez zawór $+40^{\circ}\text{C}$. Przepływ przy całkowitym otwarciu 250 l/min . Ciśnienia przy zamkniętym zaworze $p_1 = 8,8 \text{ atn}$, $p_2 = 3,69 \text{ atn}$ /1 pompa/.

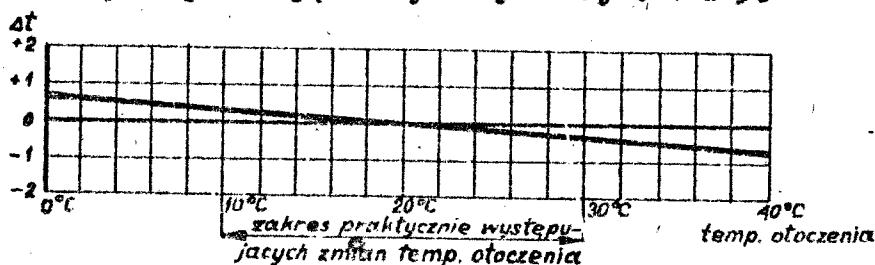
Charakterystyki te były określane dla różnych wielkości przepływu czynnika grzejnego w momencie całkowitego otwarcia i przy różnej charakterystyce zmian różnicy ciśnień spowodowanej zamykaniem regulatora oraz różnej temperaturze punktu pracy ustawionej na skali nastawnika. Pozwoliło to na określenie wpływu tych parametrów na przebieg charakterystyki statycznej.



Rys. 4. Zależność średniej temperatury cieczy w siłowniku oraz temperatury zamknięcia zaworu w zależności od temperatury czynnika przepływającego przez zawór. Wykres zmiany temperatury zamknięcia zaworu ustalono przy ustawieniu punktu pracy $t = 70^{\circ}\text{C}$ przy temperaturze czynnika przepływającego przez zawór równej $t = 70^{\circ}\text{C}$. Z prawej strony wykresu

zaznaczono przesunięcie punktu pracy przy zmianie temperatury czynnika w górę i w dół od 70°C przy której przyjęto $\Delta t = 0^{\circ}\text{C}$

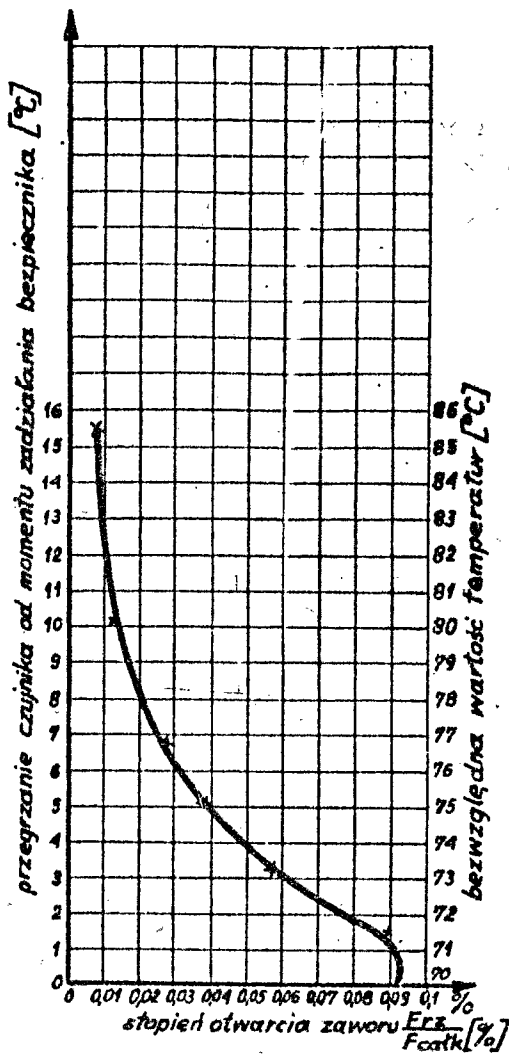
Określono również odchylenia punktu pracy regulatora spowodowane zmianą temperatury czynnika grzejnego oraz zmienną temperaturą otoczenia, co pokazują wykresy na rys. 4 i 5.



Rys. 5. Wpływ temp. otoczenia na zmianę punktu pracy termoregulatora $\Delta t = f / t_{\text{otocz.}}$. Na wykresie oznaczono odchyłki temperatury zamknięcia od wartości zerowej ustalonej od temp. otoczenia $+20^{\circ}\text{C}$

Bardzo istotnym elementem badań zaworu termostaticznego jest kontrola szczelności układu zawierającego, przy czym wielkość ta jest ściśle związana z siłą docisku grzybka do guzadka, a więc musi być określona w funkcji przegrzewania czujnika /rys. 6/.

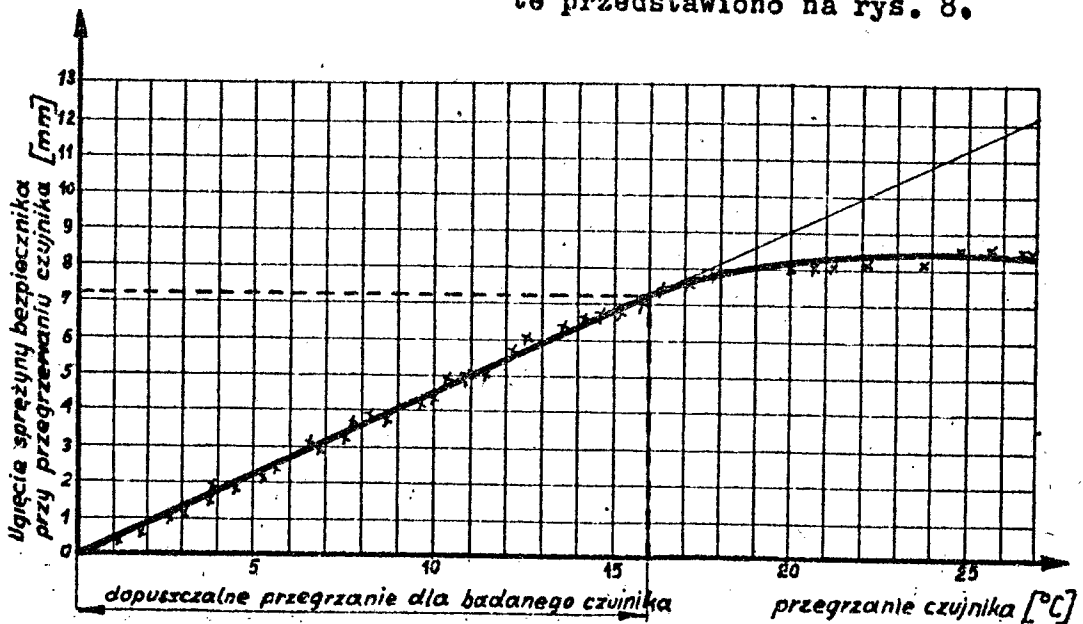
Przegrzanie określane jest od momentu zadziałania bezpiecznika. Celem jednoznacznego określenia przecieku został on wyrażony w % stopnia otwarcia zaworu.



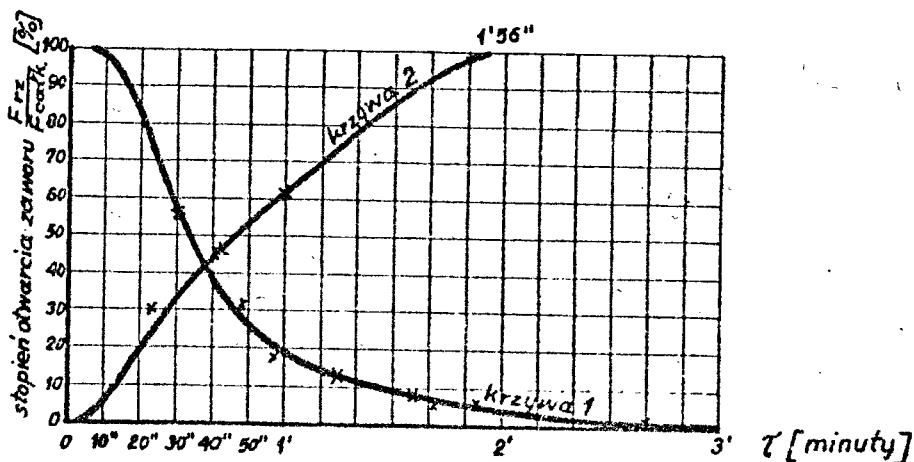
Rys. 6. Zmiana stopnia otwarcia zaworu w funkcji przegrzania czujnika od momentu zadziałania bezpiecznika $p_n = 6 \text{ at}$, $p_n = 0 \text{ at}$

Działanie bezpiecznika określono zmianą jego wysunięcia w funkcji przegrzania i jednoznacznym określeniem charakterystyki sprężyny bezpiecznika. Przebieg tej charakterystyki przedstawia rys. 7, na którym zaznaczono również dopuszczalne przegrzanie bezpiecznika. Odgięcie rzeczywistej charakterystyki od teoretycznej wynika z nierównych odstępów pomiędzy zwojami, co powoduje "siadanie na sobie" niektórych zwojów.

Charakterystyki dynamiczne regulatora określono w obu kierunkach zmian położenia organu wykonawczego po przeniesieniu czujnika regulatora z ośrodka o temperaturze odpowiadającej całkowitemu otwarciu zaworu do ośrodka o temperaturze odpowiadającej całkowitemu zamknięciu zaworu i odwrotnie. Charakterystyki te pozwalają na ustalenie stałych czasowych regulatora określanych jako czas potrzebny do wykonania 2/3 pełnego skoku oraz stałych opóźnienia określanych jako czas pomiędzy zmianą temperatury ośrodka, w którym znajduje się element pomiarowy regulatora, a początkiem wystąpienia przemieszczenia się organu wykonawczego. Charakterystyki te przedstawiono na rys. 8.

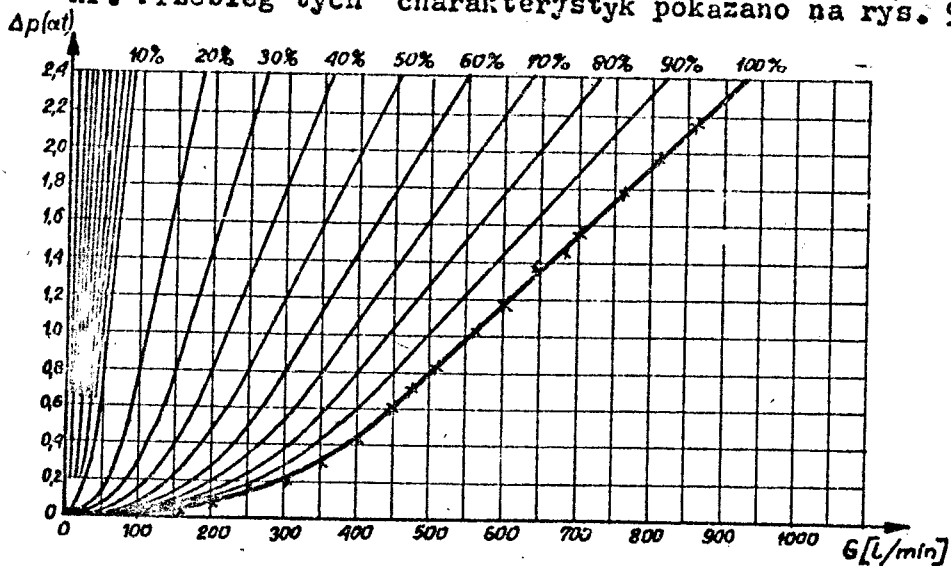


Rys. 7. Wysunięcie bezpiecznika w funkcji przegrzewania czujnika



Rys. 8. Charakterystyka dynamiczna regulatora określająca stopień otwarcia zaworu w czasie $\frac{F_{rz}}{F_{całk.}} \% = f[\tau]$; -po przełożeniu czujnika regulatora z ośrodka o temp. $t_1 = 30^\circ\text{C}$ odpowiadającej całkowitemu otwarciu zaworu do ośrodka o temperaturze odpowiadającej całkowitemu zamknięciu zaworu $t_2 = 53^\circ\text{C}$ [krzywa 1] ; -po przełożeniu czujnika regulatora z ośrodka o temperaturze $t_2 = 53^\circ\text{C}$ odpowiadającej całkowitemu zamknięciu zaworu do ośrodka o temp. t_1 odpowiadającej całkowitemu otwarciu zaworu $t_1 = 30^\circ\text{C}$ krzywa 2

Badano również charakterystykę oporności zaworu przy różnym stopniu jego otwarcia pozwalającą określić wielkość współczynnika przepływu Kr. Przebieg tych charakterystyk pokazano na rys. 9!



Rys. 9. Oporność zaworu dla różnego stopnia otwarcia Temperatura $\varnothing 50$, $w = f[\Delta p]$ przy różnym stopniu otwarcia zaworu

3.2. Badania regulatorów na wytrzymałość mechaniczną, szczelność materiału oraz próby szczelności regulatorów przeprowadzono doprowadzając wodę o odpowiednim ciśnieniu przy pomocy prostego stanowiska połączonego z pompką ręczną.

3.3. Próby zmęczenia zespołów termometrycznych

Jak wykazały kilkuletnie badania i eksploatacje różnych typów regulatorów temperatury bezpośredniego działania, przeznaczonych do regulacji temperatury ciepłej wody użytkowej nowalgicznym elementem większości tych konstrukcji jest zespół termometryczny. Wynika to z wyjątkowo ciężkich warunków na jakie zespół ten jest narażony w związku z dynamicznymi zmianami temperatury ośrodka otaczającego czujnik, a tym samym gwałtownymi zmianami ciśnienia cieczy termometrycznej wewnątrz zespołu. W tym stanie rzeczy czujniki wykazujące bezpośrednio po wykonaniu poprawne własności termometryczne w czasie kontroli technicznej przeprowadzonej już po stosunkowo krótkim okresie pracy wykazywały utratę zdolności termometrycznych spowodowaną bądź ubytkiem cieczy termometrycznej bądź też trwałym odkształcaniem elementów zespołu termometrycznego.

Wobec masowego zastosowania regulatorów temperatury oraz braku odpowiedniej obsługi w jednostkach eksploatacyjnych niemożliwe stało się szerokie wprowadzenie termoregulatorów o niedostatecznej niezawodności oraz zbyt krótkim okresie bezawaryjnej pracy.

Celem uniknięcia lub co najmniej znacznego ograniczenia częstotliwości występowania tych usterek konieczne jest przeprowadzenie prób zmęceniowych na stanowisku zapewniającym co najmniej tak ciężkie warunki pracy jak w trakcie normalnej eksploatacji. Stanowisko takie zostało wykonane w Ośrodku Badawczo-Doświadczalnym SPEC i obecnie przeprowadzane są na nim badania wszystkich zespołów termometrycznych z wykonanych u nas kilkudziesięciu sztuk, stanowiących średniej wielkości serię informacyjną.

Zgodnie ze swoim przeznaczeniem stanowisko to umożliwia:

- a/ dokładną kontrolę stanu technicznego zespołów termometrycznych,
- b/ samoczynne przeprowadzanie prób zmęceniowych w ciężkich warunkach pracy na sześciu zespołach termometrycznych jednocześnie,
- c/ dokładną kontrolę zmian właściwości termometrycznych po dokonanych próbach,
- d/ ustawienie punktu pracy zaworu wraz z korektą nastawnika.

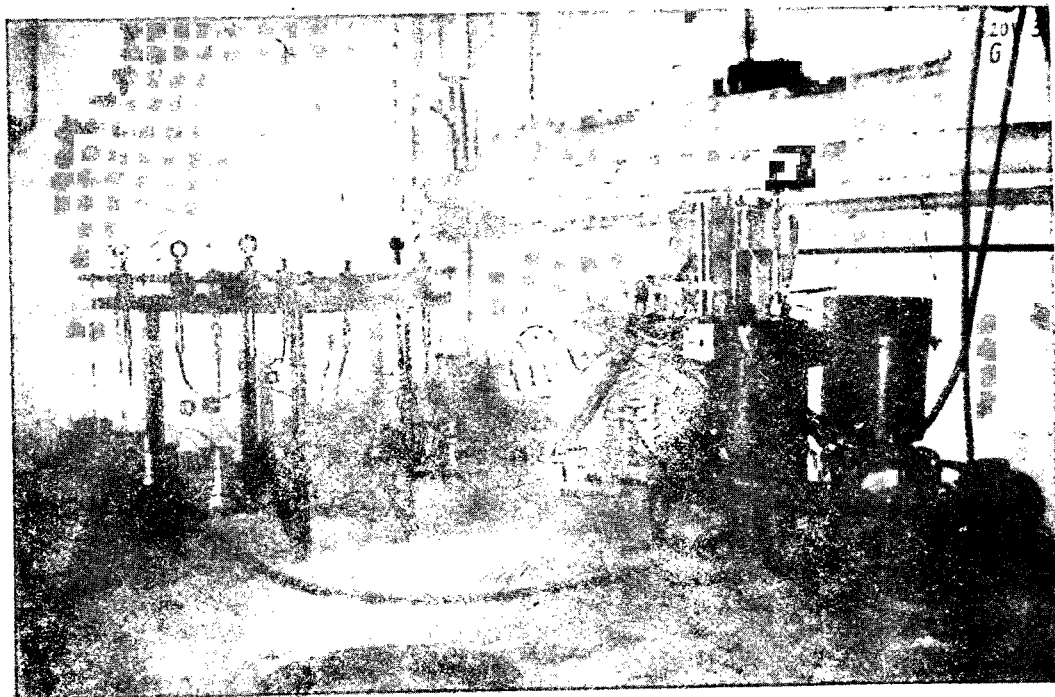
Wygląd zewnętrzny stanowiska przedstawiono na fot. nr 1 - 3. Stanowisko składa się z następujących elementów:

Z b i o r n i k g ł ó w n y przeznaczony jest do zamontowania czujników. Zaopatrzony on jest w termometr kontaktowy oraz termometr laboratoryjny. Przez górną pokrywę doprowadzony jest przewód przelewowy połączony swobodnie z atmosferą i odprowadzeniem do

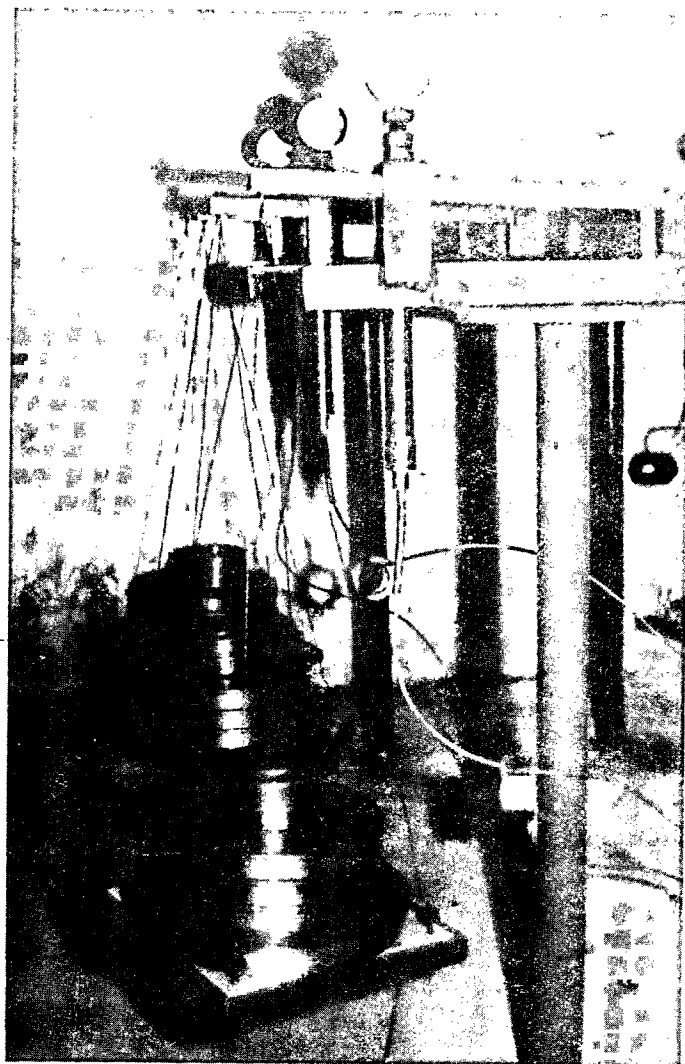


Fot. 1.

kanalizacji. Do zbiornika głównego dołączone są jeszcze cztery przewody:



Fot. 2.



Fot. 3.

- przewód zasilający zbiornik główny wodą wodociągową z zamontowanym na nim zaworem elektromagnetycznym,
- przewód łączący zbiornik główny z króćcem ssącym pompy,
- przewód łączący zbiornik główny ze zbiornikiem grzania,
- przewód spustowy z zaworem i odprowadzaniem do kanalizacji.

Całość zbiornika jest izolowana termicznie warstwą szklaną umieszczoną wewnątrz płaszczki ochronnego. Pojemność wodna zbiornika ograniczona jest do minimum przez zamontowanie w środkowej, niewykorzystanej części zbiornika cylindra stanowiącego komorę powietrzną.

Zbiornik grzania posiada zamontowane grzałki elektryczne o mocy 6 KW. Grzałki zamontowane są w pokrywie umożliwiającej łatwy demontaż. Obieg wody zapewniony jest przy

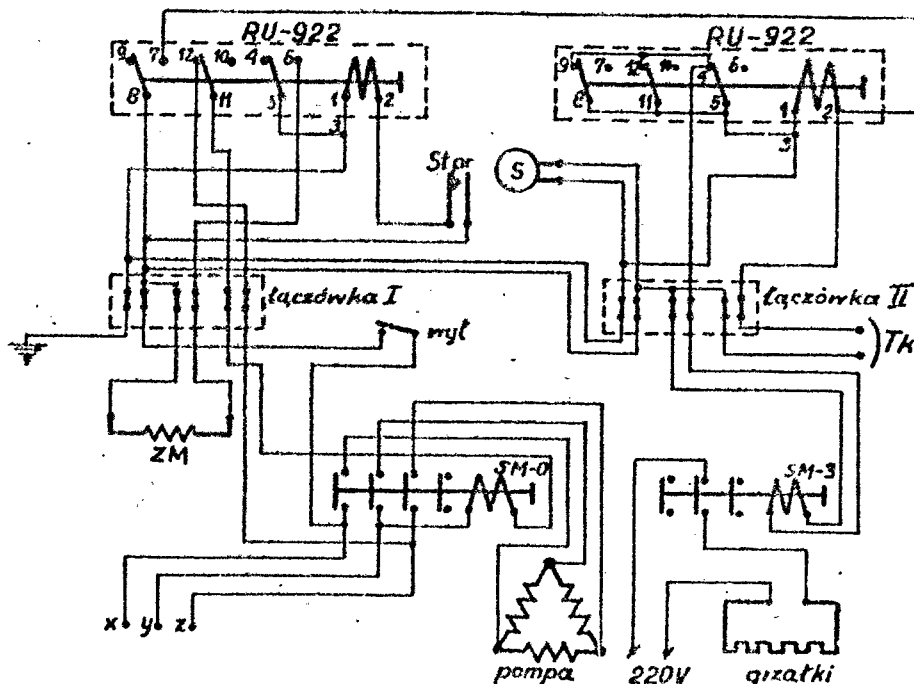
pomocy małej pompy z silnikiem o mocy 0,8 Kw.

Najistotniejszym elementem stanowiska jest urządzenie programujące-regulujące realizujące zaprogramowany cykl zmian termicznych ośrodka, w którym zamontowane są czujniki.

Urządzenie to zasilane jest prądem zmiennym z sieci i steruje pracą grzałek, wirnika elektrycznego pompy obiegowej oraz zaworem elektromagnetycznym. Zawiera ono dwa współpracujące układy regulacyjne: układ sterowania realizujący program czasowy i układ regulacji stabilizującej podporządkowany układowi sterującemu.

Realizacja narzuconego programu czasowego dokonywana jest za pomocą krzywki napędzanej silniczkami elektrycznymi o mocy 2 W i ilości obrotów $n = 875$ obr/min. za pośrednictwem zespołu przekładni zębatych.

Poprzez wymianę ostatniego z szeregu kół zębatach osiąga się odpowiednią szybkość obrotu krzywki, co pociąga za sobą częstotliwość zmian warunków termicznych. Schemat elektryczny urządzenia programująco-regulacyjnego wraz ze schematem połączenia układu z termometrem kontaktowym oraz regulowanymi urządzeniami przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Schemat elektryczny urządzenia programująco-regulacyjnego stanowiska do prób zmęczeniowych zespołów termometrycznych

Cykl pracy urządzenia sterującego /czemu odpowiada jeden obwód krzywki/ zawiera dwie fazy: fazę grzania i stabilizacji temperatury oraz fazę chłodzenia.

Fazy te realizowane są odpowiednim profilem krzywki dającym żądany czas zwania i rozwania styku programatora. Rozwaniu styku programatora odpowiada faza grzania zaś zwanu faza chłodzenia. Poprzez wymianę krzywki można zmienić stosunek czasowy obu faz pracy układu.

Sterowanie pracą pompy, grzałki oraz zaworu elektromagnetycznego odbywa się za pośrednictwem dwóch przekaźników typu PRU-922. Jeden z przekaźników steruje pracą silnika elektrycznego pompy oraz zaworu elektromagnetycznego, drugi natomiast pracą grzałek.

Zastosowanie odrębnego przekaźnika do sterowania grzałek wynika z dodatkowej regulacji pracy grzałek termometrem kontaktowym zamontowanym w zbiorniku głównym.

Układ stabilizacji temperatury w zbiorniku głównym jest podporządkowany układowi programującemu i steruje pracą grzałek jedynie w fazie grzania.

Celem zmniejszenia natężenia prądów przepływających przez przekładniki zarówno pompa, jak i grzałki zasilane są nie bezpośrednio przez przekładnik, lecz za pośrednictwem styczników SM-O.

Całość urządzenia programującego umieszczono w obudowie, uziemiono oraz zaopatrzoło w centralny wyłącznik.

Stół z uchwyta mi do montażu przekładników wykonano w formie konstrukcji stalowej zabetonowanej w posadzce, co zabezpiecza przed zniekształceniem wyników pomiarów wysunięcia popychacza, łatwo występującym przy nie dość statycznym zamocowaniu przekładników.

Uchwyty do montażu przekładników przyspawano do stołu w odstępach umożliwiającym swobodny montaż przekładników. Uchwyt ten umożliwia jednocześnie obciążenie popychacza wymaganą siłą oraz pomiar jego wysunięcia dokonywany z dokładnością 0,01 mm przy pomocy zegarowego czujnika tokarskiego.

W celu zwiększenia siły działającej na popychacz w stosunku do ciężaru zastosowanych obciążników ramię obciążnika wykonano w formie dźwigni dającej przełożenie 1:1,5.

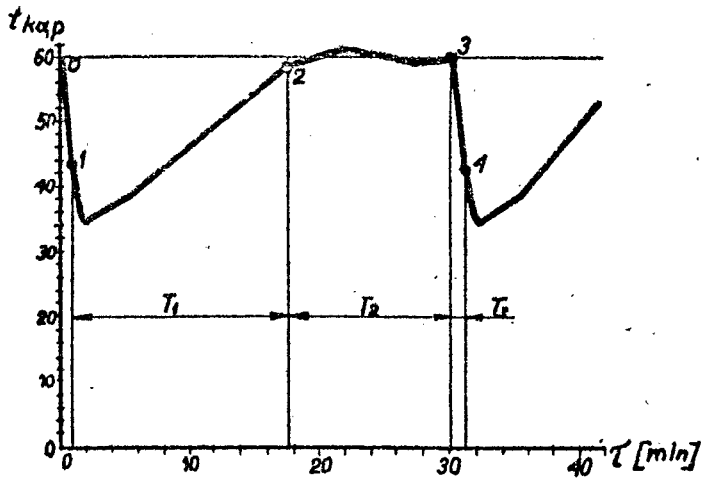
Opis funkcjonowania stanowiska. Rozruchu stanowiska dokonuje się po zamontowaniu czujników zespołów termometrycznych w zbiorniku głównym i przekładników w przeznaczonych do tego celu uchwytach.

Stanowisko napełnia się wodą wodociągową poprzez otwarcie zaworu elektromagnetycznego /niezależnie od układu regulacyjnego/, aż do momentu uzyskania wypływu rurą przelewową. W stanie bezprądowym przy wyłączeniu wyłącznika głównego grzałki i pompa są wyłączone, a zawór magnetyczny /typ w stanie bezprądowym zamknięty/ znajduje się w położeniu zamkniętym.

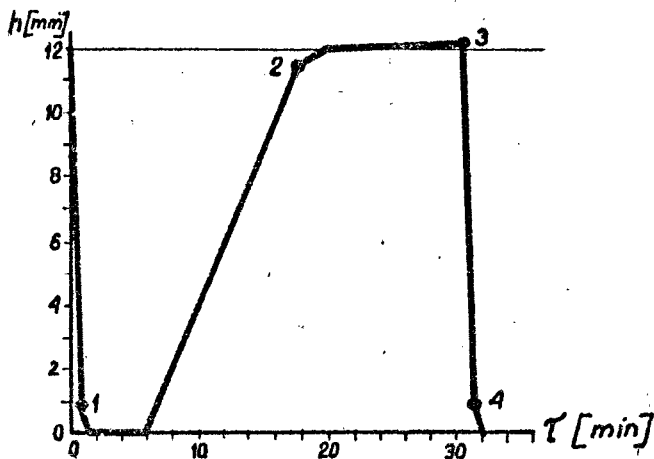
Po napełnieniu układu wodą odłączamy krzywkę programującą, pozostawiając styk programujący w stanie rozwarcia i załączamy wyłącznik główny, powodując rozpoczęcie procesu grzania z jednoczesną pracą pompy obiegowej. Po uzyskaniu przez kąpiel żądanej temperatury nastawionej na termometrze kontaktowym następuje automatyczna stabilizacja tej temperatury, co świadczy o zakończonym rozruchu stanowiska i możliwości włączenia krzywki programującej.

Dalsza praca stanowiska przebiega automatycznie, a kolejne jej fazy przedstawiono na wykresie /rys. 11/.

Analizę pracy stanowiska pokazaną na rys. 11 rozpoczęto od momentu przejścia na styk części krzywki odpowiadającej fazie chłodzenia, co powoduje zwarcie styku programatora, a tym samym wyłączenie grzałek i pompy z jednoczesnym otwarciem zaworu elektromagnetycznego.



Rys. 11. Wykres cyklu pracy stanowiska do prób zmęczeniowych zespołów termometrycznych



Woda wodociągowa wpływa do zbiornika głównego, natomiast ciepła woda znajdująca się w zbiorniku wypływa przewodem przelewowym do kanalizacji.

Czas otwarcia zaworu elektromagnetycznego wynoszący ok. 1 min. powoduje obniżenie temperatury kąpieli o ok. 30°C , co przekracza wartość obszaru proporcjonalności zespołu termometrycznego, a tym samym jest w zupełności wystarczające dla uzyskania pełnego skoku grzybka.

Z uwagi na bezwładność cieplną całkowite cofnięcie się popychacza następuje dopiero w początkowym okresie fazy grzania i trwa ok. 4 min. Dalsze podnoszenie temperatury kąpieli pociąga za sobą stały wzrost stopnia wysunięcia popychacza. Maksymalne wysunięcie popychacza związane jest ze wzrostem temperatury do wartości stabilizowanej ustalonej na termometrze kontaktowym.

Czas ogrzania kąpielii do temperatury stabilizowanej wynosi ok. 16 min, co przy założeniu półgodzinnego okresu trwania pełnego cyklu gwarantuje 13-minutowy okres stabilizacji, umożliwiając dokonanie niezbędnych pomiarów bez przerywania przeprowadzanych prób. Pozostawienie długiego okresu stabilizacji daje również pewność realizacji pełnego cyklu nawet w przypadku znacznych wahań temperatury oraz ciśnienia wody wodociągowej, temperatury zewnętrznej otaczającej stanowisko oraz wydajności cieplnej grzałek.

Po upływie pół godz., czyli pełnego cyklu, styk programatora zostaje znowu zwarty, co powoduje ponowne wyłączenie grzałek i pompy z jednoczesnym otwarciem zaworu elektromagnetycznego, a tym samym rozpoczęcie nowego cyklu.

3.4. Badania eksploatacyjne regulatorów

Niezależnie od wstępnych prób zmęczenia, którym poddawane są zespoły termometryczne, prowadzone są długookresowe badania regulatorów pracujących w normalnych warunkach eksploatacyjnych. Badania te polegają na ocenie efektów regulacji oraz okresowej kontroli zdolności termometrycznej i stałości punktu pracy regulatorów. W trakcie tych badań ocenia się również wszelkie zmiany zachodzące w regulatorze, a zwłaszcza:

- zmiany szczelności układu zawierającego,
- zmiany korozyjne oraz osadzanie się kamienia kotłowego,
- powstanie przecieków na złączach lub w materiale.

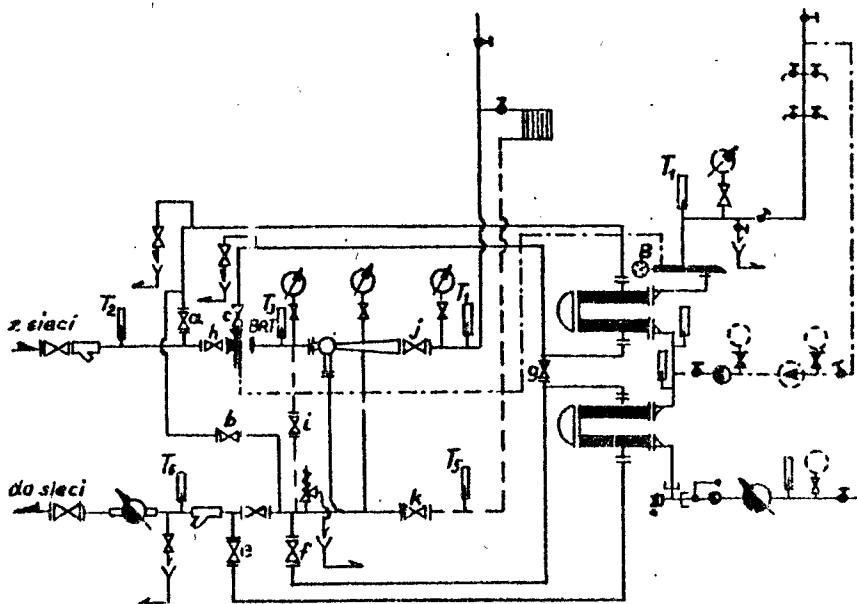
Badaniom eksploatacyjnym poddawane są wszystkie regulatory serii informacyjnej.

3.5. Określenie przebiegu procesów regulacyjnych

Na niektórych obiektach regulacji równoległe z przeprowadzanymi badaniami eksploatacyjnymi określa się przebiegi procesów regulacyjnych. Badania te pozwolą na określenie charakterystyk obiektów regulacji i przebiegu zmienności parametrów zakłócających, co umożliwi dokładne określenie wymogów stawianych regulatorom oraz ustalenie optymalnego sposobu doboru ich wielkości i montażu. Badania te prowadzone są przy użyciu przyrządów rejestrujących pozwalających na szczegółowe określenie przebiegu procesów regulacyjnych w czasie.

Znaczenie charakterystyki obiektu regulacji na przebieg procesu regulacyjnego, postaramy się zilustrować na fragmentarycznych wycinkach z badań, przeprowadzonych na dwóch obiektach o podobnej kubaturze zaopatrzonych w regulatory dwudrogowe, lecz różniące się od siebie typem i wielkością, wymiennika oraz wielkością i charakterystyką badanego regulatora.

Schemat węzła cieplnego w obu budynkach przedstawiał się jak na rysunku 12.



Rys. 12. Schemat węzła ciepłego z szeregowo-szeregowym podłączeniem wymiennika i regulatorem temperatury

Ciepła woda podgrzewana jest w dwustopniowym wymienniku przeciwnieprądowym. Pierwszy stopień podgrzewu zasilany jest wodą powracającą z instalacji c.o., przy czym podgrzew jest nieregulowany i przez wymiennik przepuszczana jest cała ilość ciepłej wody powracającej z instalacji.

Drugi stopień podgrzewu zasilany jest czynnikiem grzejnym - wodą z przewodu zasilającego sieci, który po przejściu przez wymiennik miesza się z dodatkową ilością czynnika grzejnego z przewodu zasilającego i jest kierowany do instalacji c.o. Drugi stopień podgrzewu jest regulowany przy pomocy regulatora dwudrogowego mieszającego, który w zależności od temperatury ciepłej wody na wyjściu z wymiennika szczytowego /drugi stopień podgrzewu/ reguluje przepływ czynnika grzejnego przez ten wymiennik, tym samym zmienia więc proporcję ilości czynnika grzejnego płynącego do hydroelewatora bezpośrednio z sieci i czynnika częściowo już wychłodzonego w wymienniku szczytowym.

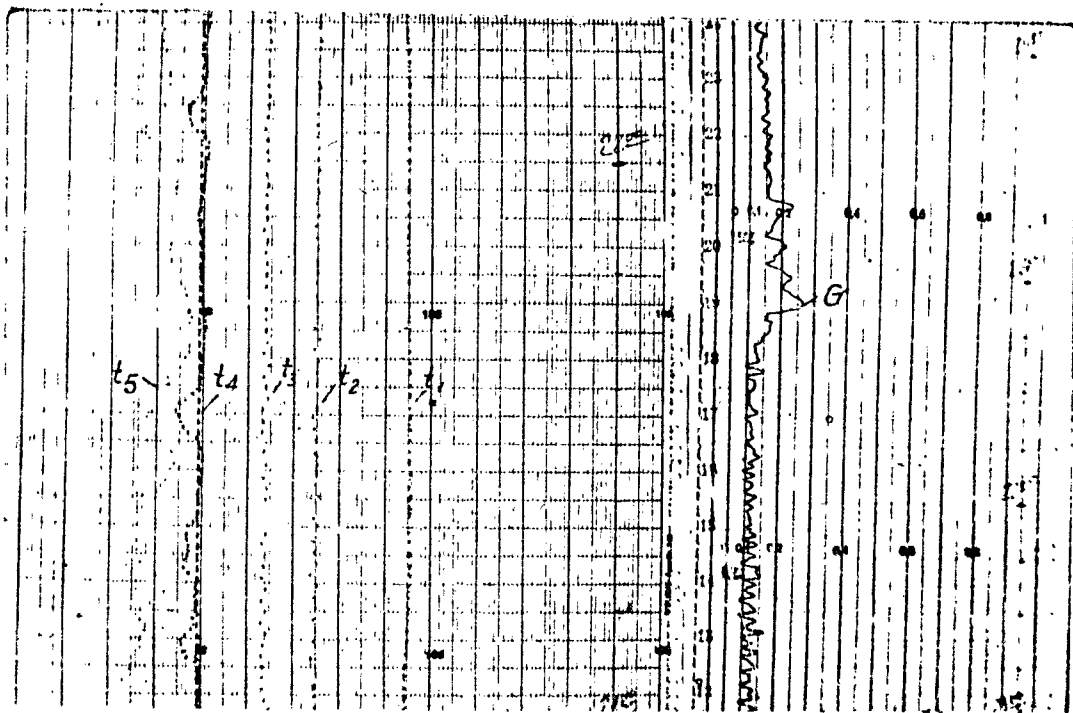
Porównanie danych charakterystycznych budynków

Adres budynku		Smocza 21	Niska 17	Uwagi
Kubatura budynku	V [m ³]	9900	9600	Kubatura budynku oraz pozostałe dane odnośnie bud. Smocza 21 dotyczą jedynie rozpatrywanej II
Ilość mieszkańców	osób	180	175	
Całkowite średniodobowe zapotrzebowanie ciepła na c.w.	Q_{sr} [kcal]	33750	35200	

Adres budynku		Smocza 21	Niska 17	Uwagi
Typ wymiennika i dł.		TPI 24000 2x5,8+2x5,8	TPI 23000. 2x5,8+2x3,8	strefy za- silania w ciepłą wodę
Powierzchnia wymia- ny ciepła	$\frac{m^2}{F}$	8,4	13,4	
Objętość ciepłej wody zawartej w wymienniku	$V_{c.w.}$ [m ³]	$21,5 \times 10^{-3}$	36×10^{-3}	
Objętość czynnika grzejnego zawarte- go w wymienniku	V_{czyn-} nika [m ³]	$54,0 \times 10^{-3}$	97×10^{-3}	W przestrze- ni międzyrur- kowej
Współczynnik za- sobności wodnej wymiennika po str. c.w. w stos. do jego powierz- chni grzejnej.	$\frac{V_{c.w.}}{F}$	$2,55 \times 10^{-3}$	$2,68 \times 10^{-3}$	
Całkowite max.za- potrzebowanie ciepła na c.w.	kcal	73.237	79.300	
Współcz.zasobn. wodnej wymienni- ka po str.c.w. w stosunku do za- potrzebowania c.w.		$0,64 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \times 10^{-6}$	
Współczyn.zasobn. wodnej wymiennika po stronie czyn- nika grzejnego w stosow. do jego powierzchni		$6,45 \times 10^{-3}$	$7,24 \times 10^{-3}$	
Wydajność cieplna wymiennika		85,500	120.000	
Stosunek powierz- chni wymiennika szczytowego do podstawowego		1	0,655	
Względna wydajność cieplna baterii		2,53	3,43	

Adres budynku	Smocza 21	Niska 17	Uwagi
Przelotowość termoregulatora drogi na c.w.	16	13,3	Przyjęta połowiczna wartość Kr zaworu z uwagi na równoległe zasilenie 1 zaworem dwóch stref
Względna przelotowość termoregulatora	$0,45 \times 10^{-3}$	$0,39 \times 10^{-3}$	
Współczynnik wzmocnienia wyrażony przyrostem wydatku wraz ze spadkiem temperatury	0,55	1,36	Słuszny w zakresie częściowego otwarcia drogi na c.w.

Fragmentaryczny przebieg procesu regulacyjnego przedstawiono na kolejnych wykresach /rys. 13, 14, 15, 16 i 17/. Pierwsze trzy wykresy dotyczą budynku Smocza 21. Wykres na rys. 13 obejmuje fragment okresu wieczornego przy temp. zewnętrznej $+2^{\circ}\text{C}$.

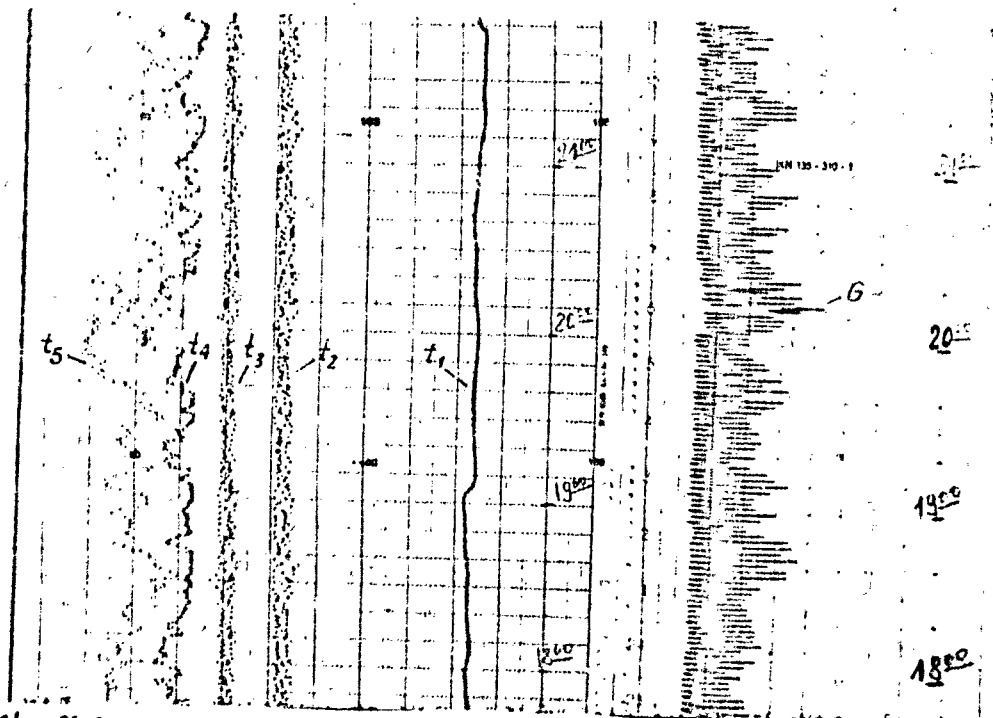


Rys. 13. Wykres zmienności parametrów charakteryzujący proces regulacji węża ciepłej wody gospodarczej w budynku przy ul. Smoczej 21 przy temperaturze zewnętrznej $+2^{\circ}\text{C}$

Kolejne temperatury na wykresie prawej strony

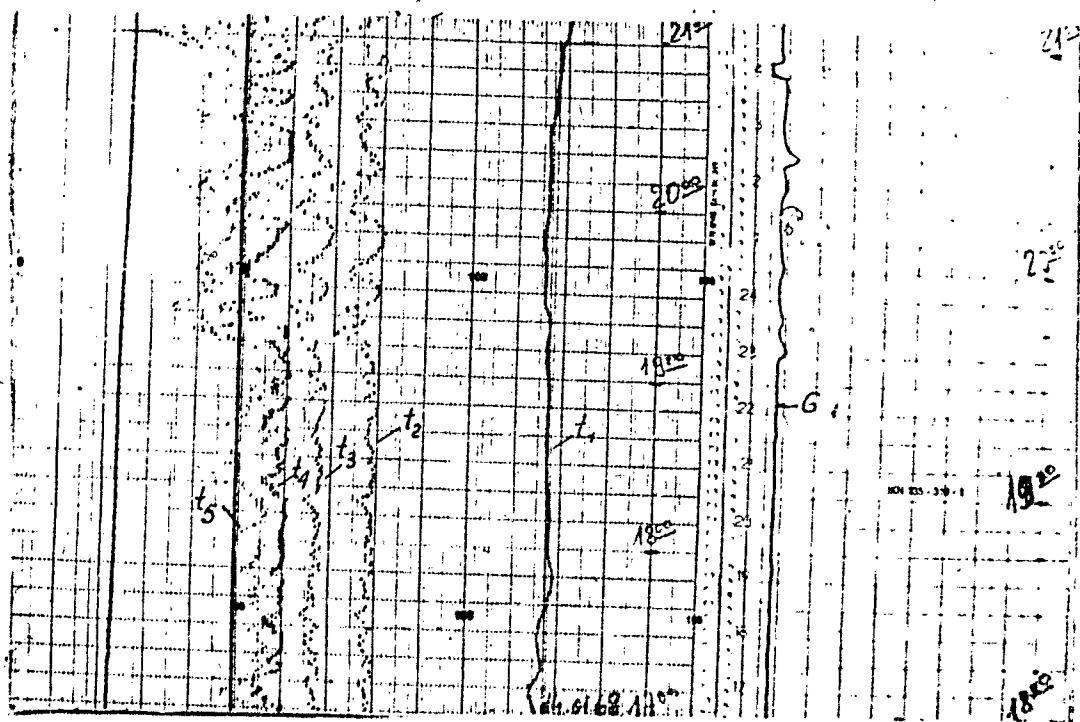
- t_1 - temperatura czynnika grzejącego w przewodzie zasilającym,
- t_2 - temperatura ciepłej wody w odległości ok. 1 m od wymiennika, podwyższona o 10°C ,
- t_3 - temperatura ciepłej wody bezpośrednio za wymiennikiem,
- t_4 - temperatura czynnika grzejącego powracającego do sieci,
- t_5 - temperatura ciepłej wody po wymienniku podstawowym
- G - przepływ czynnika grzejącego.

Pełen zakres przepływomierza /100%/ odpowiada przepływowi 5 t/h. Drugi wykres /rys. 14/ przedstawia fragment okresu wieczornego przy temp. zewnętrznej ok. -9°C , a tym samym znacznie wyższej temperaturze czynnika grzejącego.



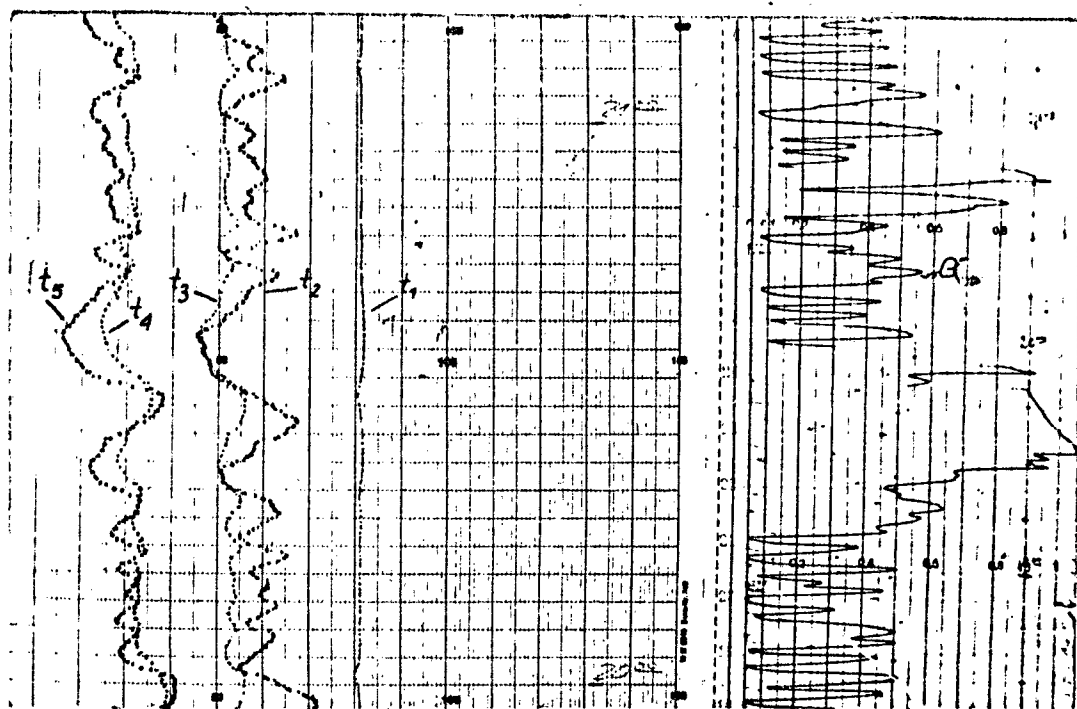
Rys. 14. Wykres zmienności parametrów charakteryzujący proces regulacyjny węzła ciepłej wody gospodarczej w budynku przy ul. Smoczej 21 przy temperaturze zewnętrznej -9°C

Widać wyraźnie znacznie większą częstotliwość zmian temperatury ciepłej wody, a tym samym większą częstotliwość zmian położenia organu nastawczego. Pełny zakres przepływomierza /100%/ odpowiada przepływowi 3,5 t/h. Występującą w tych warunkach gwałtowną pulsację można zlikwidować przez przydławienie przepływu czynnika przez wymiennik zaworem lub kryzą dławiacą, /jak na rys. 13/. Pełny zakres przepływomierza odpowiada w tym przypadku przepływowi 5 t/h. Powoduje to jednak wyraźne pogorszenie efektu regulacji, wyrażające się zwiększonymi wahaniami temperatury ciepłej wody.



Rys. 15. Wykres zmienności parametrów charakteryzujący proces regulacyjny węzła c.w.g. w budynku przy ul. Smoczej 21 przy niskiej temperaturze zewnętrznej i przy ciśnieniu przepływu czynnika grzejącego zaworem lub kryzą dławiącą

Następne dwa wykresy dotyczą budynku przy ul. Niskiej 17. Pierwszy wykres /rys. 16/ obejmuje fragment okresu wieczornego przy



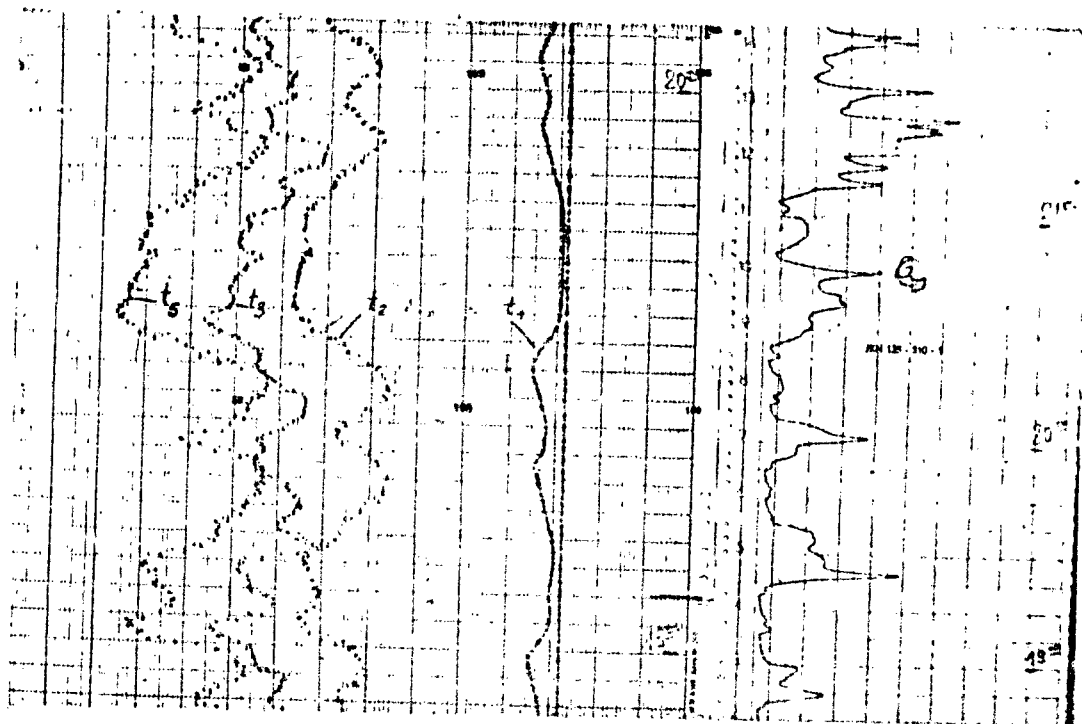
Rys. 16. Wykres zmienności parametrów charakteryzujący proces regulacyjny węzła c.w.g. w budynku przy ul. Niskiej 17 przy temperaturze zewnętrznej +4°C

temperaturze zewnętrznej ok. $+4^{\circ}\text{C}$, a tym samym odpowiednio niskie temperaturze czynnika grzejnego. Kolejne temperatury na wykresie lewej strony

- t_1 - temperatura czynnika grzejnego w przewodzie zasilającym,
- t_2 - temperatura ciepłej wody,
- t_3 - temperatura czynnika grzejnego zasilającego instalację c.o.,
- t_4 - temperatura czujnika grzejnego powracającego do sieci,
- t_5 - temperatura ciepłej wody na wyjściu z wymiennika podstawowego
- G - przepływ czynnika grzejnego.

Pełny zakres przepływomierza /100%/ odpowiada przepływowi 3 t/h. Przebieg procesu regulacyjnego w tym budynku wykazuje znacznie większą dynamikę zmian w stosunku do przebiegu procesu w analogicznych warunkach w budynku przy ul. Smocznej 21. Pociąga to za sobą znaczne wahania temperatury w granicach $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Tego samego rzędu wahania występowały również i przy niskich temperaturach zewnętrznych ok. -15°C , a tym samym wysokich temperaturach czynnika grzejnego w sieci, co widać na rys. 17.



Rys. 17. Wykres zmienności parametrów charakteryzujących proces regulacyjny węzła c.w.g. w budynku przy ul. Niskiej 17 przy temperaturze zewnętrznej -15°C

Na wykresie tym nie zanotowano zmian temperatury czynnika grzejnego, zasilającego instalację c.o. Pełny zakres przepływomierza /100%/ odpowiada przepływowi 3 t/h.

Zmiany temperatury ciepłej wody posiadają dwie przyczyny. Pierwszą przyczyną jest podstawowa zasada działania regulatorów staty-

cznych wymagająca istnienia pełnej odchyłki /statyczna/ powodującej zmianę położenia organu wykonawczego. Analizując tę przyczynę można stwierdzić, że wahania temperatur będą tym mniejsze, im mniejszy będzie współczynnik wzmocnienia wyrażony wzrostem przepływu oraz zmianą temperatury ośrodka otaczającego element pomiarowy regulatora.

Przyczyna ta powinna jednak powodować większe odchyłki temperatur jedynie w okresach występowania dużych różnic w zapotrzebowaniu czynnika grzejącego, a zatem jedynie przy niskiej temperaturze czynnika grzejącego w sieci. Decydujący wpływ na wahania temperatury regulowanej posiada zatem w niektórych przypadkach nie charakterystyka statyczna regulatora, ale właściwości dynamiczne zarówno regulatora, jak i wymiennika ciepła. Powodują one znaczne opóźnienia reakcji końcowej, charakteryzujące się przedłużaniem zawyżonej dostawy ciepła przez wymiennik, podczas gdy nastąpiła już zmiana temperatury czynnika grzejącego, wymagająca korekty dostawy ciepła przez wymiennik.

Wyniki przeprowadzonych dotychczas badań procesów regulacji temperatury ciepłej wody przy pomocy regulatorów bezpośredniego działania, których fragmenty tutaj przedstawiono, zwróciły uwagę na szereg istotnych aspektów problemu regulacji dostawy ciepłej wody, pomijanych w dotychczasowych rozważaniach. Dla objęcia całości różnicowanego procesu, badania te wymagają jednak znacznego rozszerzenia, zarówno w zakresie typów regulatorów, jak i rodzajów obiektów regulacji.

4. W n i o s k i

1. Należy podjąć starania nad opracowaniem wytycznych oraz odpowiednich aktów normatywnych określających obowiązujący zakres oraz technologię prac badawczych nad regulatorami bezpośredniego działania.
2. W opracowaniach tych nadać należy odpowiednią rangę:
 - zagadnieniu badań eksploatacyjnych i prób zmęczenia,
 - zagadnieniu oceny przebiegu procesów regulacyjnych będących wynikiem współzależności:
 - charakterystyk statycznych i dynamicznych regulatora,
 - charakterystyk statycznych i dynamicznych obiektu regulacji,
 - charakteru zmian wielkości zakłócających.
3. Niezależnie od prac studialnych należy poszerzyć zakres prowadzonych obecnie badań różnych typów regulatorów, szczególnie zaś badań eksploatacyjnych wraz z kontrolą przebiegu regulowanych procesów.