

## 4. WPŁYW WENTYLACJI NA BILANS CIEPLNY BUDYNKU ENERGOOSZCZĘDNEGO W RÓŻNYCH STREFACH KLIMATYCZNYCH

### 4.1. Wstęp

Utrzymanie właściwych warunków cieplnych pomieszczenia tzn. zgodnych z narzuconym reżymem: temperaturowym, wilgotnościowym i higienicznym możliwe jest tylko przy zastosowaniu klimatyzacji. Znakomita większość budynków w Polsce, a w szczególności budynków wielorodzinnych nie posiada klimatyzacji, a tylko instalacje wentylacji grawitacyjnej lub mechanicznej, które w tym przypadku należy traktować jako upusty ciepła istotnie wpływające na bilans energetyczny budynku. Utrzymanie założonych warunków cieplnych pomieszczenia zależy od zysków i strat ciepła, a w szczególności:

- strat ciepła przez przegrody zewnętrzne,
- pracy instalacji grzewczej,
- pracy instalacji wentylacyjnej.

Należy także pamiętać o zyskach cieplnych związanych z działającymi w pomieszczeniach urządzeniami, oświetleniem, ciepłą wodą użytkową, a także przebywającymi ludźmi. Rozpatrując wszystkie czynniki decydujące o warunkach cieplnych pomieszczenia zakładamy ich periodyczne działanie w czasie. Dlatego też pod wpływem wahań zysków i strat ciepła następują okresowe zmiany temperatury i wilgotności, zależne od sposobu doprowadzenia ciepła oraz stateczności cieplnej pomieszczenia.

Wahania temperatury powodują periodyczne pochłanianie i oddawanie ciepła przez przegrody, powierzchnie wewnętrzne i zewnętrzne, jednym słowem przez całe wnętrze. Obowiązuje tu oczywiście zasada zachowania energii. Im większa jest możliwość pochłaniania ciepła przez przegrody tym wahania temperatury wewnętrznej są mniejsze, a co za tym idzie stateczność cieplna pomieszczenia jest większa. Stateczność cieplną pomieszczenia można zdefiniować zatem jako zdolność do utrzymania stałego poziomu temperatury wewnętrznej przy zmiennej w czasie wymianie ciepła pomiędzy budynkiem i otoczeniem.

### 4.2. Komfort cieplny pomieszczeń.

Rozpatrując straty ciepła w budynkach wielorodzinnych można przyjąć, że średnio poprzez ściany traci się 40% ciepła, okna 30%, infiltrację 17%, przez stropodachy 7% i stropy nad piwnicą 6%. Najistotniejszą rolę odgrywają więc przegrody, chroniące pomieszczenia przed niskimi temperaturami i działaniem wiatru. Najkorzystniejszą sytuację mamy wtedy gdy stałe warunki cieplne otrzymuje się przy chłodnych powierzchniach ścian zewnętrznych i nagrzanych grzejnikach

grzejnikach centralnego ogrzewania. Powstają wtedy konwekcyjne strumienie powietrza ujednolicejające temperaturę w pomieszczeniu. Aby zapewnić właściwy mikroklimat pomieszczenia należy prawidłowo dobrać izolację cieplną przegród zewnętrznych, moc cieplną instalacji grzewczej i wydatek instalacji wentylacyjnej. Zapewnienie ustalonych warunków wewnętrznych określone jest doбором obliczeniowych parametrów klimatycznych, głównie temperatury, prędkości i kierunku wiatru. W opracowaniu posługiwano się uśrednionym zbiorem danych klimatycznych z lat 1971 - 1981 dla pięciu miast Polski położonych w różnych strefach klimatycznych. Dane te były wykorzystane w pracy CPBP 0.2.21-47/88 do obliczania zapotrzebowania ciepła na cele wentylacyjne. Wyniki dotyczące w/w wydatków cieplnych wykorzystano także w obecnej pracy.

Niniejsze obliczenia dotyczą tych samych budynków mieszkalnych.

Klimat regionu w kompleksowy sposób oddziałuje na warunki cieplne tak przegród jak i pomieszczeń, stąd też obliczenia prowadzono dla pięciu stref klimatycznych kraju. Jak wiadomo klimat określa parę czynników meteorologicznych równocześnie, dlatego też ich wpływ na przenikanie ciepła przez przegrody należy uwzględnić łącznie. W zależności od klimatu porównywalny komfort cieplny mogą zapewnić przegrody o różnych własnościach termicznych, ale jak wykazały zamieszczone w dalszej części wyniki, na obszarze Polski nie są to różnice istotne.

Komfort cieplny pomieszczenia zależy m.in. od oporu cieplnego przegród oraz ich stateczności. Opór cieplny charakteryzuje przegrody w warunkach ustalonych, natomiast stateczność cieplna określa opór przegrody przy zmiennych w czasie oddziaływaniach cieplnych. Przegrody zewnętrzne nie są jednolite i charakteryzują się różną statecznością cieplną. Do przegród o małej stateczności należą okna. Przez te przegrody straty ciepła wzrastają niemal jednocześnie z obniżeniem się temperatury zewnętrznej. W okresach gwałtownych ochłodzeń straty ciepła przez okna stanowią do 80% strat całkowitych. Ale w zasadzie straty ciepła zmieniają się liniowo odpowiednio do zmian temperatury zewnętrznej.

Drugim co do znaczenia czynnikiem kształtującym bilans cieplny pomieszczenia jest instalacja centralnego ogrzewania, a w efekcie grzejniki przekazujące ciepło od czynnika grzewczego instalacji c.o. do ogrzewanego pomieszczenia. Grzejniki powinny pokrywać sumaryczne straty ciepła traconego przez przegrody jak i na ogrzanie masy powietrza wentylacyjnego. Warunki cieplne w pomieszczeniu zależą nie tylko od ilości dostarczonego ciepła, ale także od kształtu i usytuowania grzejnika. Określa się także proporcje ciepła przekazywanego przez grzejniki poprzez konwekcję i promieniowanie. Wskaźnikiem określającym przydatność grzejnika jest efekt grzewczy i jest definiowany jako stosunek ciepła oddawanego przez grzejniki do pomieszczenia, do obliczeniowych strat ciepła. Grzejniki równoważące ubytki ciepła pomieszczeń powinny być tak usytuowane aby ograniczały zasięg oddziaływania przegród chłodnych. Efektywność systemu centralnego ogrzewania można określić na podstawie rozkładu temperatur wzdłuż wysokości pomieszczenia. Podsumowując charakterystykę cieplną budynku z punktu widzenia jego komfortu cieplnego i rozplanowania pomieszczeń oraz oszacowania strat ciepła można wykorzystać



jednostkową charakterystykę ciepłą  $q$  określoną w  $W/m^3 \text{deg}$  stratę ciepła 1  $m^3$  budynku przy różnicy temperatur 1 deg i zdefiniowaną następująco.

$$q = \frac{Q}{V(t_{wew} - t_{zew})} \quad (4.1)$$

gdzie

$Q$  - obliczeniowe straty ciepła w pomieszczeniach budynku

$V$  - kubatura budynku wg. wymiarów zewnętrznych

$t_{wew} - t_{zew}$  - obliczeniowa różnica temperatury wewnętrznej i zewnętrznej

Drugim po przegrodach (ściany i okna) co do wielkości czynnikiem powodującym ubytki ciepła w pomieszczeniach jest wentylacja. Zaniżony wydatek powietrza wentylacyjnego powoduje podwyższenie temperatury z równoczesnym wzrostem wilgotności. Jak wykazują badania wilgotności w mieszkaniach ze źle działającą wentylacją mechaniczną lub grawitacyjną, w budynkach wysokich (tzn. więcej niż czteropiętrowych) wnosi do 95%. Nadmiar pary w powietrzu nie tylko źle wpływa na ludzki organizm ale przede wszystkim powoduje zawilgacanie przegród zewnętrznych. A to jak wiadomo obniża tzw. izolacyjność przegród i wywołuje obniżenie temperatury w pomieszczeniach i jest czynnikiem prowadzącym do przemarzania i zgrzybiania ścian. Według PN-82/B-020020 przegrody budynku powinny spełniać między innymi następujący warunek termoizolacyjny  $t_{wew} > t_r$  tzn., że nieprzezroczyste przegrody zewnętrzne powinny się charakteryzować takim oporem cieplnym, aby temperatura ich powierzchni wewnętrznych  $t_{wew}$  przy obliczeniowych temperaturach zewnętrznej i wewnętrznej i obliczeniowej wilgotności względnej powietrza w każdym punkcie przegrody była wyższa niż temperatura punktu rosy  $t_r$ . A jest to nic innego jak warunek mówiący o zapobieganiu kondensacji pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród, zwłaszcza w miejscach istniejących mostków termicznych. Możliwość kondensacji pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród zewnętrznych zwiększa się w miarę wzrostu wilgotności powietrza w pomieszczeniu przy stałej temperaturze wewnętrznej lub przy jej obniżeniu. Dlatego też przy tak popularnym obecnie docieplaniu budynków należy sprawdzić efektywność działania wentylacji. Ponieważ najczęściej stosowaną wentylacją jest system wentylacji grawitacyjnej i z racji dużego zagęszczenia mieszkań należy założyć wyższą niż normowa 55% wilgotność względną powietrza wewnętrznego. To założenie jest bardzo istotne przy określaniu grubości warstwy docieplającej.

### 4.3. Modele termiczne budynku.

Opis matematyczny zjawisk cieplnych, którym podlega wnętrze budynku na skutek zmian cieplnych środowiska zewnętrznego przedstawiony jest w formie tzw. termicznych modeli budynku.

Ze względu na złożoność wymiany ciepła w obiekcie zaniedbuje się niektóre ze składników bilansu cieplnego. Pomija się wymianę ciepła przez promieniowanie i konwekcję wewnątrz pomieszczenia, a także zmienność w czasie współczynników opisujących cechy konstrukcji budynku. Uproszczenie

modeli polega nie tylko na pominięciu wyżej wymienionych składników bilansu, ale na sposobie zapisu pozostałych. Zyski lub straty ciepła mają zazwyczaj charakter harmoniczny i do nich zalicza się najistotniejszy składnik bilansu cieplnego pomieszczenia, a mianowicie przenikanie ciepła przez przegrody zewnętrzne i straty ciepła wynikające ze zjawiska infiltracji. Budując model dąży się do liniowego opisu zjawisk cieplnych lub do linearyzacji opisu tychże zjawisk. Linearyzacji podlegają opisy zjawisk dotyczących przejmowania ciepła przez przegrody na drodze promieniowania i konwekcji. Do celów użytkowych stosuje się rzecz jasna tak uproszczone modele aby uwzględniły tylko czynniki w najistotniejszy sposób wpływające na bilans cieplny pomieszczenia.

W [10] przedstawiono opis termicznego modelu budynku którego celem jest wyznaczenie przebiegu wystygania pomieszczeń. Przedstawiony został wzór umożliwiający obliczenie temperatury powietrza w pomieszczeniu w funkcji czasu. Zgodnie ze zdaniem autora modelu, decydujący wpływ na zmianę temperatury pomieszczenia ma pojemność cieplna przegród wewnętrznych takich jak ściany, stropy, podłogi i ewentualnie stygnące wyposażenie wnętrza. Formalnie ujmuje ich wpływ współczynnik "charakterystyka cieplna pomieszczenia przy wystyganiu" określający stosunek strat cieplnych pomieszczenia do ilości ciepła wydzielonego w pomieszczeniu przez przegrody i wyposażenie przy jego wystyganiu". Wydaje się być pewną słabością modelu przyjęcie tego współczynnika na stałym poziomie podczas całego cyklu stygnięcia, jak również przyjęcie stałej temperatury zewnętrznej. Model praktycznie rzecz biorąc nie uwzględnia wentylacji, a jedynie wspomniana jest możliwość uwzględnienia infiltracji.

W [8] zaproponowano prosty model matematyczny pozwalający na obliczenie średniej temperatury wewnątrz pomieszczeń jako funkcji temperatury zewnętrznej i temperatury zasilania instalacji centralnego ogrzewania. Model otrzymano poprzez analizę bilansu energetycznego budynku. Został on wprowadzony przy następujących założeniach:

- wpływ wentylacji (przewietrzania) na temperaturę średnią pomieszczeń jest pomijalny,
- strumień ciepła od promieniowania słonecznego i ze źródeł dodatkowych poza centralnym ogrzewaniem zostaje pominięty,
- strumień ciepła odbierany od czynnika grzejnego równa się strumieniowi ciepła przekazywanego przez grzejniki do pomieszczenia, a ten ostatni jest proporcjonalny do różnicy między temperaturą powrotną z c.o. i temperaturą pomieszczeń,
- strumień ciepła akumulowanego w budynku równa się różnicy między strumieniem ciepła przekazywanego przez grzejniki do pomieszczeń i strumieniem ciepła rozpraszanego z pomieszczeń do toczenia, przy czym ciepło jest akumulowane przede wszystkim w przegrodach wewnętrznych i zewnętrznych, a akumulowanie ciepła w powietrzu wewnątrz budynku jest omijane.

W oparciu o ten model została zdefiniowana stała czasowa budynku charakteryzująca szybkość jego wystygania, a jej wartość może być - zdaniem autora - wykorzystana do programowania sterowników mikroprocesorowych dla węzł z c.o. Zaproponowanemu tu model termiczny budynku jest, modelem elementarnym. Zjawiska cieplne opisano w formie równań uwzględniających podstawowe składniki bilansu cieplnego pomieszczenia, a mianowicie



- wychładzanie pomieszczenia na skutek przenikania ciepła przez ściany,
- wychładzanie pomieszczenia w wyniku infiltracji i wentylacji,
- straty ciepłe w stanie ustalonym równoważone są przez moc cieplną grzejników,
- w stanie nieustalonym akumulację ciepła w ścianach,
- założono, że strumień ciepła odbierany od czynnika grzejnego równy jest strumieniowi ciepła przekazywanego przez grzejniki,
- strumień ciepła od grzejników proporcjonalny jest do różnicy średniej temperatury czynnika grzewczego i temperatury w pomieszczeniu,
- pominięto akumulację ciepła przez powietrze w pomieszczeniu.

Zgodnie z powyższymi założeniami termiczny model budynku opisany jest następującym układem równań

a) bilans cieplny grzejników

$$\rho_w c_w G_w (T_{we} - T_{wy}) = K_g (T_{srw} - T_p) \quad (4.2)$$

b) bilans cieplny budynku

$$\rho_s c_s V_s \frac{dT_p}{dt} = K_g (T_{srw} - T_p) - kF_z (T_p - T_z) - \rho_p c_p V_b n (T_p - T_z) \quad (4.3)$$

wraz z warunkiem początkowym  $T_p = T_{po}$

gdzie

- $c_w$  - ciepło właściwe cieczy grzejnej,
- $c_s$  - średnie ciepło właściwe materiału budowlanego,
- $c_p$  - ciepło właściwe powietrza,
- $F_z$  - całkowita powierzchnia wymiany ciepła pomiędzy budynkiem a otoczeniem,
- $G_w$  - wydatek czynnika grzewczego,
- $k$  - średni współczynnik przenikania ciepła poprzez ściany budynku,
- $K_g$  - współczynnik wydajności cieplnej instalacji c.o. określający ilość ciepła wymienianą przez grzejniki na 1 stopień różnicy temperatury pomiędzy średnią temperaturą czynnika grzejnego, a temperaturą powietrza w budynku,
- $n$  - liczba wymian powietrza w budynku w wyniku wentylacji i infiltracji,
- $T_p$  - średnia temperatura powietrza w budynku,
- $T_{we}$  - temperatura czynnika grzewczego na wejściu,
- $T_{wy}$  - temperatura czynnika grzewczego na wyjściu,
- $T_{srw}$  - średnia temperatura czynnika grzewczego,
- $V_s$  - objętość przegród wewnętrznych i zewnętrznych budynku,
- $V_b$  - kubatura budynku,
- $\rho_s$  - średnia gęstość materiału budowlanego,

$\rho_w$  - gęstość czynnika grzewczego.

Model ten pozwala na wyznaczenie wahań temperatury powietrza wewnątrz budynku w funkcji temperatury zewnętrznej, która może się zmieniać, prędkości oraz kierunku wiatru, a także mocy cieplnej grzejników.

Wyżej opisany model zastosowany został do budynków wyszczególnionych w Tabeli 4.1. Są to budynki charakterystyczne, o współczynniku przenikania ciepła  $k > 1$ , a więc takie jakich jest obecnie najwięcej w kraju i budowane na przestrzeni ostatniego 20 lecia. Dobór został dokonany na podstawie [1]. Dane dotyczące tych budynków zostały uprzednio wykorzystane do określenia zapotrzebowania ciepła na cele wentylacyjne w funkcji rodzaju budynku, temperatury zewnętrznej, prędkości i kierunku wiatru. Wyniki, a także ciągi danych meteorologicznych wykorzystywane uprzednio posłużyły za dane w obecnej pracy. Współczynnik przenikania ciepła "k" przegród budowlanych przyjęto zgodnie z normą PN-82/B-03404. Powierzchnie przegród budowlanych obliczono zgodnie z normą PN-82/B-03406

- ścian a) długość pomiędzy osiami ścian prostopadłych do ściany rozpatrywanej,
- b) wysokość, pomiędzy osiami stropów ograniczających ściankę rozpatrywaną,
- drzwi, okien, naświetli, świetlików - przyjmując wymiary ościeży,
- stropów, stropodachów, podłóg - przyjmując ich wymiary pomiędzy osiami ograniczających ścian.

#### 4.4. Opis możliwości programu.

Określenie przebiegu temperatury wewnątrz pomieszczeń w czasie w funkcji temperatury zewnętrznej, prędkości i kierunku wiatru oraz mocy cieplnej c.o. może służyć za źródło informacji do programowego obniżania temperatury wewnętrznej w okresie nocnym w budynkach mieszkalnych jak również obniżania jej do poziomu temperatury dyżurnej w budynkach użyteczności publicznej w okresie ograniczonego wykorzystywania pomieszczeń.

W [9] podano graficzne wyniki obliczeń dla analizowanego budynku szkoły. Za stan zużycia energii cieplnej przyjęto pokrycie strat ciepła przenikającego przez przegrody i potrzebnego na ogrzanie powietrza infiltracyjnego przy ustalonej temperaturze zewnętrznej. Określono zastępczą ilość powietrza wentylacyjnego. Otrzymano graficzne przebiegi dobowe mocy cieplnych ogrzewania i temperatury wewnętrznej przy założeniu stałej temperatury zewnętrznej dla ustalonych wydatków powietrza wentylacyjnego. Sprawdzono także przebiegi procesu stygnięcia w przypadku wyłączenia lub osłabienia ogrzewania oraz przeanalizowano procesy nagrzewania po okresie wyłączenia. Obliczenia miały na celu ustalenie wymaganych przebiegów mocy cieplnych ogrzewania przy zadanych obniżeniach temperatury wewnętrznej. Przebiegi mocy cieplnych mogą służyć do wstępnego oszacowania wymaganych parametrów instalacji c.o. w warunkach instalacji ze zmienną intensywnością grzania.



W niniejszym opracowaniu wykorzystując zaproponowany wyżej układ równań opisujących bilans cieplny budynku opracowano program numeryczny umożliwiający określenie przebiegu zmienności temperatury powietrza wewnątrz pomieszczenia przy dodatkowych, opcjonalnych następujących założeniach

- dowolny przebieg czasowy temperatury zewnętrznej,
- dowolny przebieg czasowy prędkości wiatru,
- ustalony w czasie, ale dowolny kierunek wiatru,
- skokowa zmiana ciśnienia ciągu wentylatora dla budynków z wentylacją mechaniczną (z możliwością wyłączenia i ponownego włączenia wentylatora w dowolnym momencie lub w zależności od temperatury panującej wewnątrz pomieszczenia),
- skokowa zmiana mocy grzejników c.o. (możliwość ich wyłączenia i włączenia w dowolnym momencie),
- zmiana temperatury wody na wejściu do grzejników.

Taki zestaw dodatkowych założeń umożliwia otrzymywanie wielu interesujących z punktu widzenia praktyki charakterystyk cieplnych budynku. Prostota tego termicznego modelu budynku oczywiście nie gwarantuje otrzymania wyników o bardzo dużej dokładności. Niemniej model ten może stanowić znakomite narzędzie przy porównywaniu jakości różnych budynków w tych samych warunkach klimatycznych, lub zachowywania się budynku w różnych strefach klimatycznych. Porównywanie różnych bloków z punktu widzenia szybkości ich wystygania przy włączonej lub wyłączonej wentylacji mechanicznej i przebieg ich ponownego ogrzewania. W pracy zostały przedstawione wyniki takich badań dotyczące ośmiu różnych bloków mieszkalnych o parametrach podanych w Tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Charakterystyczne parametry budynków

Blok Nr	L. kond.	Pow.okien mieszk. m <sup>2</sup>	Pow.okien korytarzy m <sup>2</sup>	Pow.całk. m <sup>2</sup>	Kubatura m <sup>3</sup>	Spręż went. Pa
1	8	750	150	4980	19150	140
2	11	750	150	4980	19150	160
3	4	710	150	4280	16950	66
4	5	710	150	4280	16950	130
5	8	710	150	4280	16950	140
6	5	250	70	1190	4650	130
7	11	450	300	2340	9250	160
8	11	450	100	2340	9860	160

Pierwszych osiemnaście wykresów to charakterystyki stygnięcia tych bloków w trzech różnych polskich strefach klimatycznych (dla pozostałych dwu stref klimatycznych wyniki są do wglądu u autora) reprezentowanych przez miasta Warszawę, Białystok i Zakopane w dwu okresach roku - w ciągu dwóch tygodni stycznia i dwóch tygodni listopada. Na wykresach przedstawiony jest również przebieg temperatury zewnętrznej otrzymanej przez uśrednienie danych dotyczących temperatury minimalnej i maksymalnej w tych miejscowościach w ciągu dziesięciu lat. Dane te oraz zastosowanie interpolacji funkcjami sklejanymi (tzw. splajnami) trzeciego stopnia pozwoliły na otrzymanie podanych przebiegów. Charakterystyki bloków zostały uzyskane przy wykorzystaniu również średnich wartości prędkości wiatrów wiejących w danych okolicach. We wszystkich budynkach początkowa temperatura wynosiła 20 stopni C. Przykładowo z wykresów można odczytać, że w czasie wychładzania bloków w warunkach zimowych, a konkretnie czas po którym temperatura wewnątrz osiąga zero zmienia się od czterech do siedmiu dób w zależności od rodzaju budynku i strefy klimatycznej.

Wykresy 4.19 - 4.22 przedstawiają ustalone ogrzewanie wybranych bloków przy stałej temperaturze zewnętrznej równej - 10 stopni C. Przy czym moc grzejników została ustalona w oparciu o założenie, że ich moc wydzielana z jednostki powierzchni wynosi  $0,27 \text{ W/m}^2$ . Z wykresów wynika, że wśród wybranych bloków w tych warunkach trzy są niedogrzone.

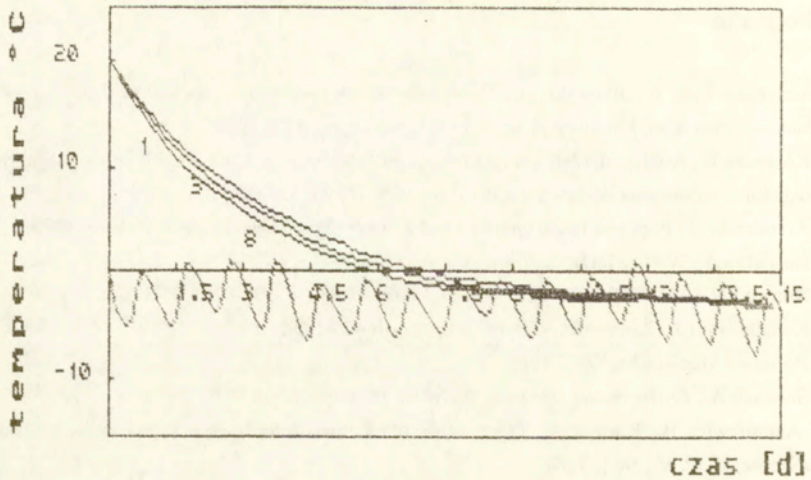
Wykresy 4.23 - 4.30 przedstawiają sytuację w której w miesiącu styczniu w Warszawie ulega awarii system ogrzewania w kolejnych ośmiu blokach i zostaje uruchomiony po pięciu dobach. Charakterystyki zostały wykonane przy dodatkowym założeniu, że w momencie gdy temperatura w budynku obniży się do  $15^{\circ}\text{C}$  zostaje wyłączony wentylator i włączony gdy temperatura ponownie przekroczy  $15^{\circ}\text{C}$ . Z wykresów wynika jak istotnym czynnikiem przy stygnięciu i ogrzewaniu bloków jest wentylacja. Pozwalają oszacować czas osiągnięcia i poziom temperatury minimalnej przy narzuconych warunkach zewnętrznych (temperatura oraz kierunek i prędkość wiatru).

Przedstawione wykresy są próbką możliwości opracowanego programu. Wykorzystać go można do programowania automatycznego sterowania całym procesem ogrzewania i wentylowania budynków, których celem jest wykrycie i wykorzystanie rezerw energetycznych kryjących się w optymalnym prowadzeniu ogrzewania budynków.

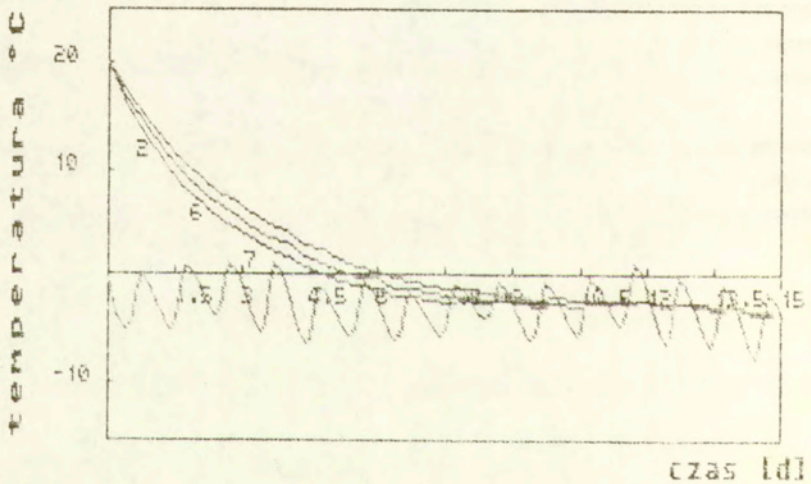


## Bibliografia

- [1] Buczyńska-Tyzt E., Ilkowski St., *Określenie minimalnej izolacyjności cieplnej w obiektach budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej*, ITB 1979.
- [2]. Kossecka E., *Analiza modeli termodynamicznych budynku pod kątem ich przydatności do zagadnień sterowania dostawą ciepła w budynku*, IPPTPAN 1988.
- [3]. Arendarski J., *Poprawa izolacyjności cieplnej budynków mieszkalnych*, Arkady 1988.
- [4]. Bogosławski W.N., *Fizyka budowli*, Arkady 1975.
- [5]. Normy PN-82/B-02020, PN-82/B-02420, PN-82/B-03430, PN-82/B-03406.
- [6]. Kwiatkowski J., Cholewa L., *Centralne ogrzewanie*, Arkady 1980.
- [7]. *Poradnik Mechanika*, WNT 1985.
- [8]. Serwach A., *Prosty model termiczny budynku*, Biuletyn, Mera PIAP 1984.
- [9]. Antoniewicz B., Koczyk A., *Ogrzewanie o zmiennej intensywności budynków użyteczności publicznej*, C.O.W., Nr.1, 1987.
- [10] Okoń J., *Wyznaczanie przebiegu wystygania pomieszczeń*, C.O.W. Nr.1 i 2, 1983 i Nr.10, 1984.
- [11] Pogorzelski J.A., *Fizyka cieplna budowli*, PWN 1976.
- [12] Recknagel, *Ogrzewanie i wentylacja*, Arkady 1976.

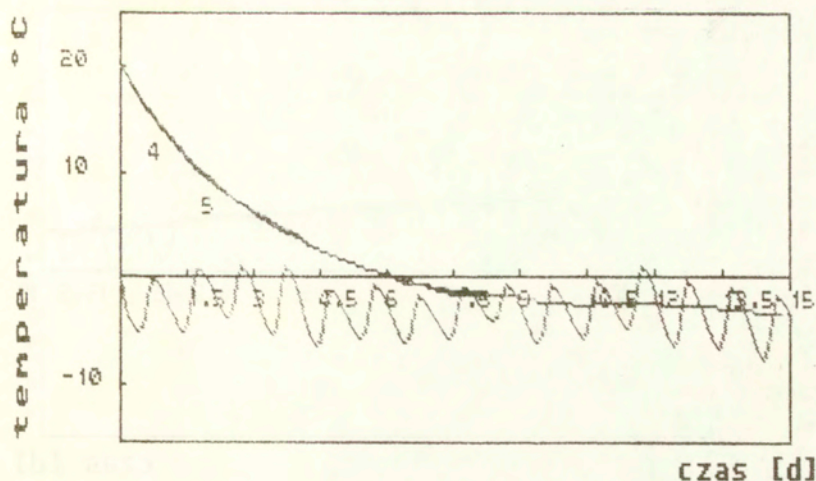


Wykres 4. 1. Charakterystyka stygnięcia bloków 1, 3 i 8 Warszawa, 1 - 15 stycznia.

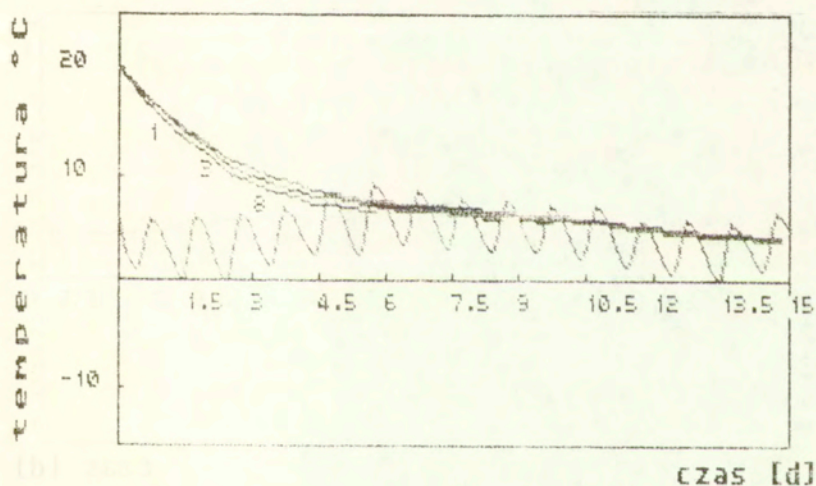


Wykres 4. 2. Charakterystyka stygnięcia bloków 2, 6 i 7 Warszawa, 1 - 15 stycznia.

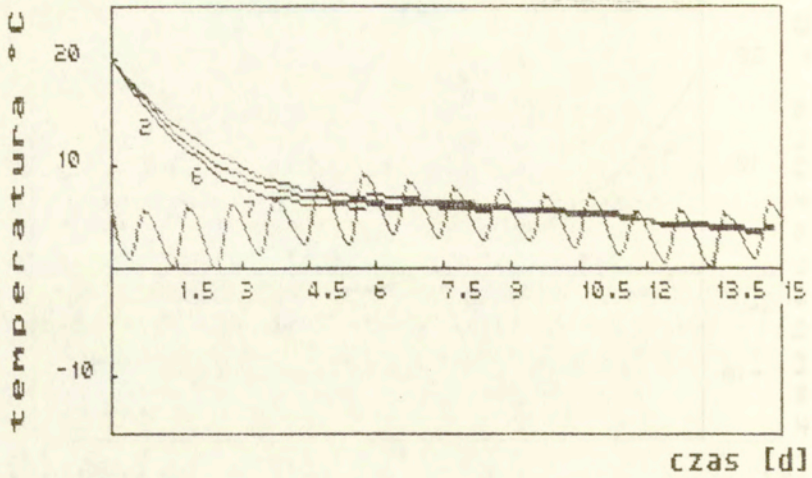




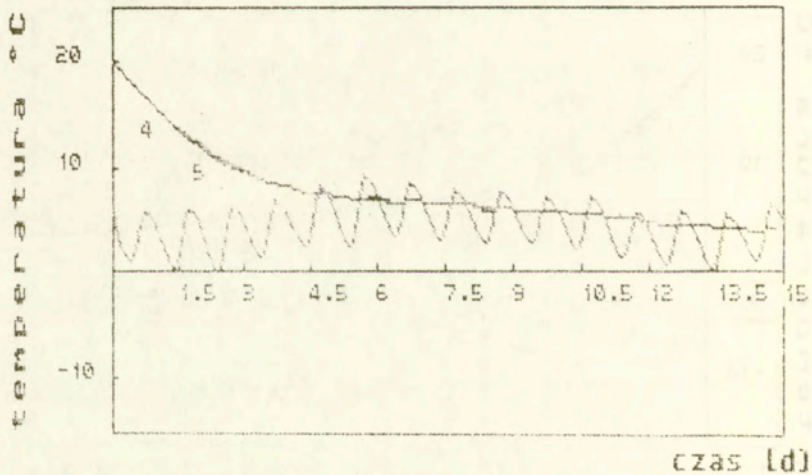
Wykres 4. 3. Charakterystyka stygnięcia bloków 4 i 5  
Warszawa, 1 - 15 stycznia.



Wykres 4. 4. Charakterystyka stygnięcia bloków 1, 3 i 8  
Warszawa, 1 - 15 listopada.

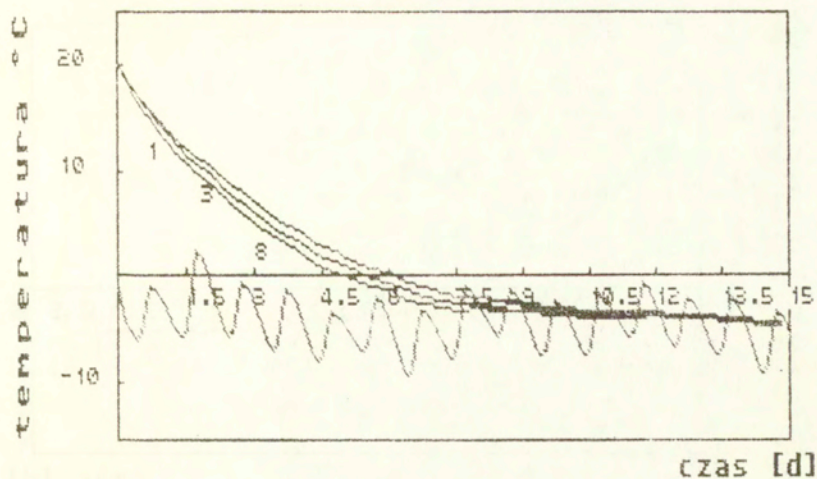


Wykres 4. 5. Charakterystyka stygnięcia bloków 2, 6 i 7 Warszawa, 1 - 15 listopada.

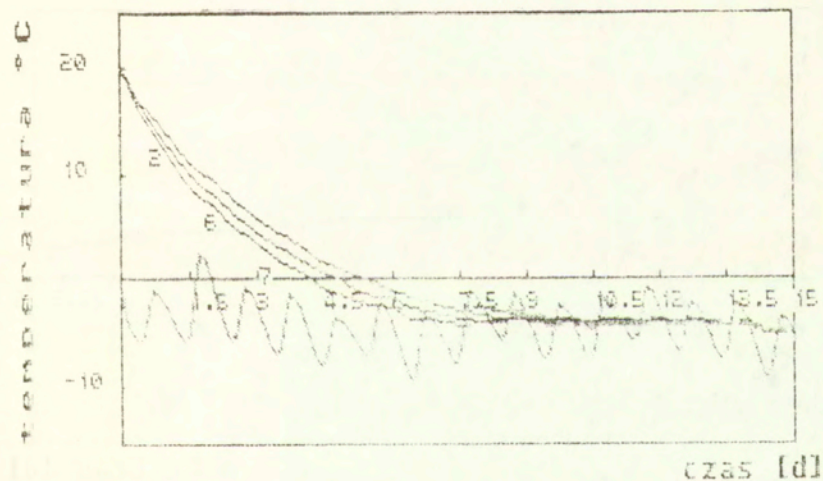


Wykres 4. 6. Charakterystyka stygnięcia bloków 4 i 5 Warszawa, 1 - 15 listopada.

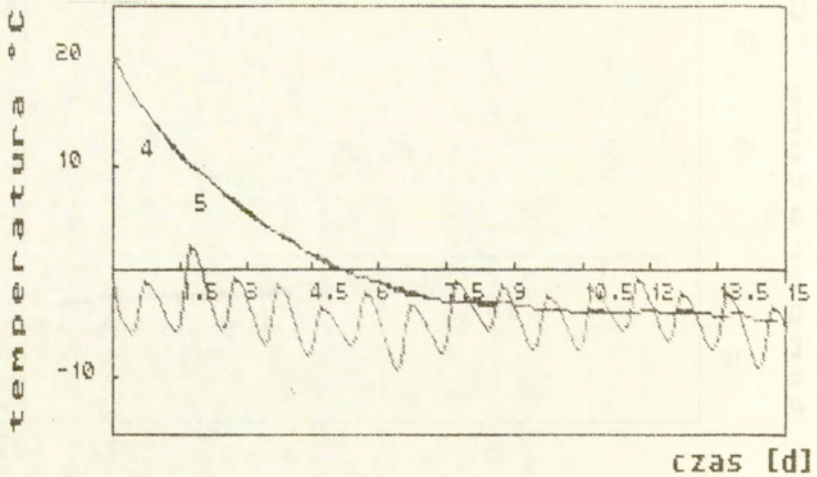




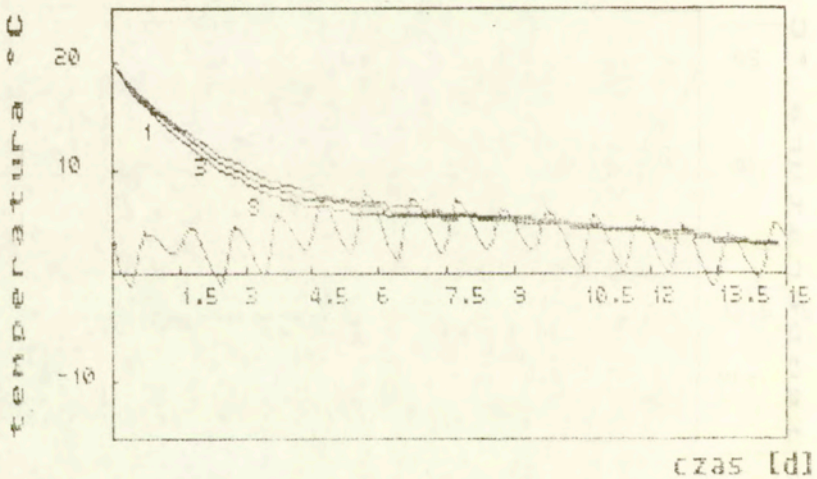
Wykres 4. 7. Charakterystyka stygnięcia bloków 1, 3 i 8 Białystok, 1 - 15 stycznia.



Wykres 4. 8. Charakterystyka stygnięcia bloków 2, 6 i 7 Białystok, 1 - 15 stycznia.

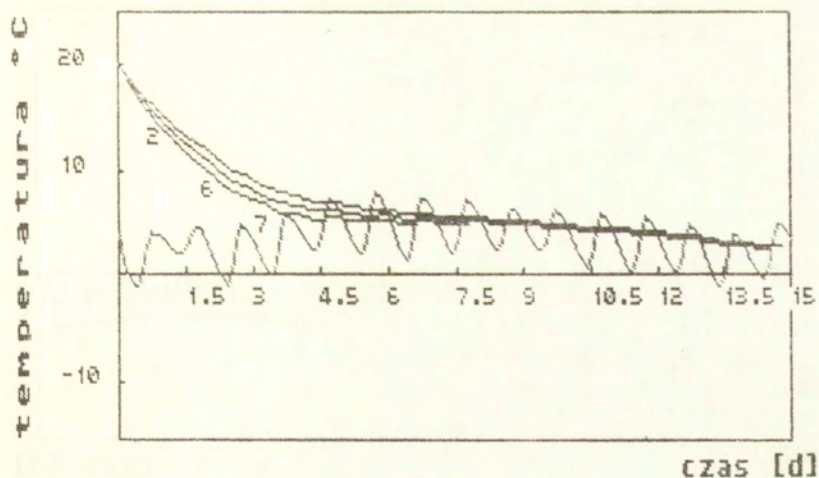


Wykres 4. 9. Charakterystyka stygnięcia bloków 4 i 5 Białystok, 1 - 15 stycznia.

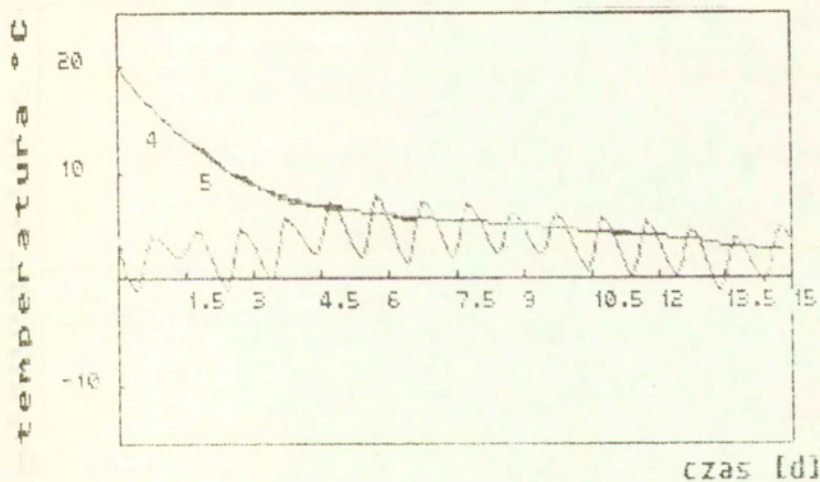


Wykres 4.10. Charakterystyka stygnięcia bloków 1, 3 i 8 Białystok, 1 - 15 listopada.

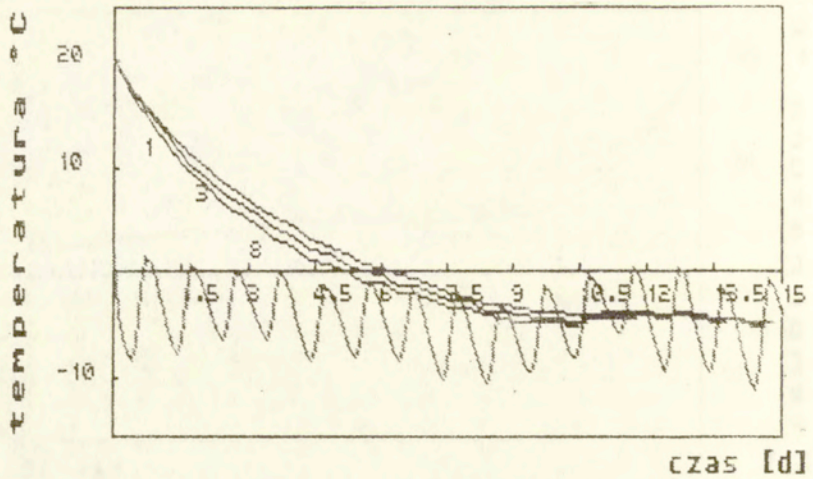




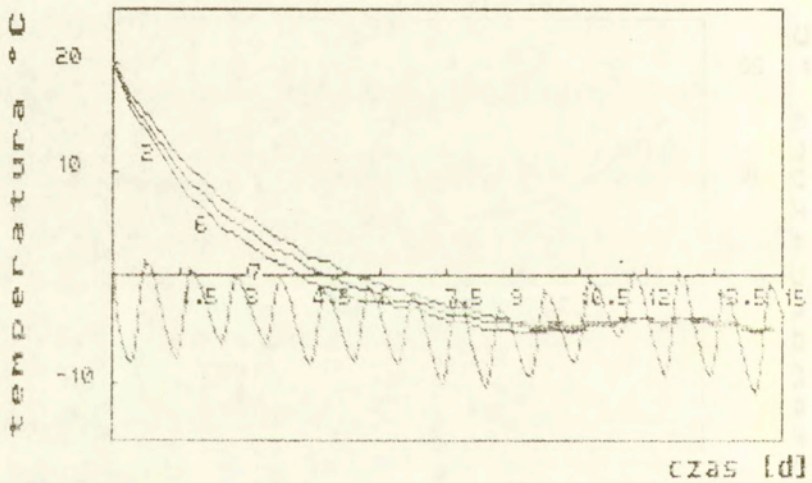
Wykres 4.11. Charakterystyka stygnięcia bloków 2, 6 i 7 Białystok, 1 - 15 listopada.



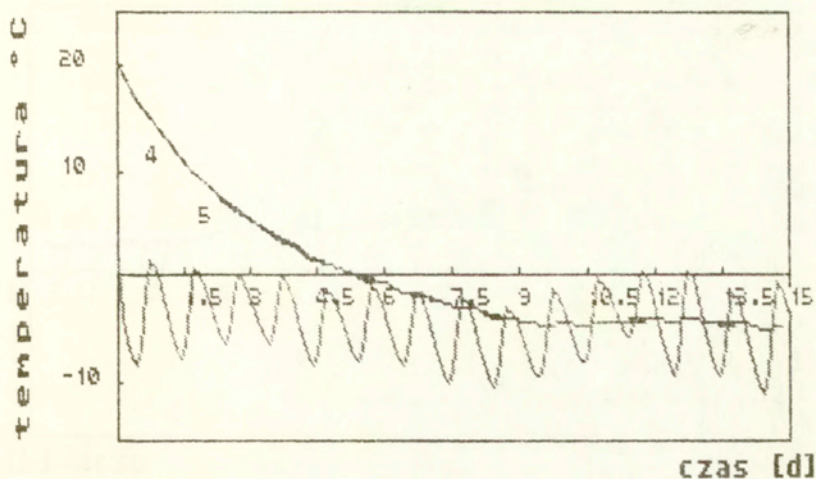
Wykres 4.12. Charakterystyka stygnięcia bloków 4 i 5 Białystok, 1 - 15 listopada.



Wykres 4.13. Charakterystyka stygnięcia bloków 1, 3 i 8 Zakopane, 1 - 15 stycznia.



Wykres 4.14. Charakterystyka stygnięcia bloków 2, 6 i 7 Zakopane, 1 - 15 stycznia.

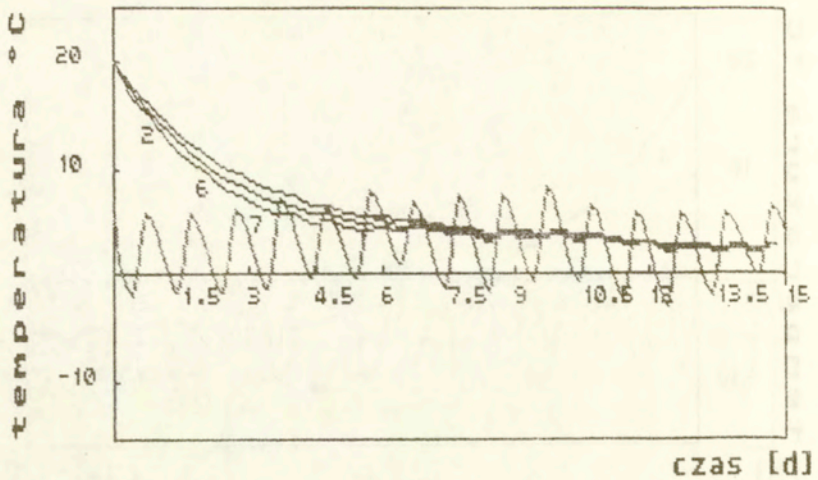


Wykres 4.15. Charakterystyka stygnięcia bloków 4 i 5 Zakopane, 1 - 15 stycznia.

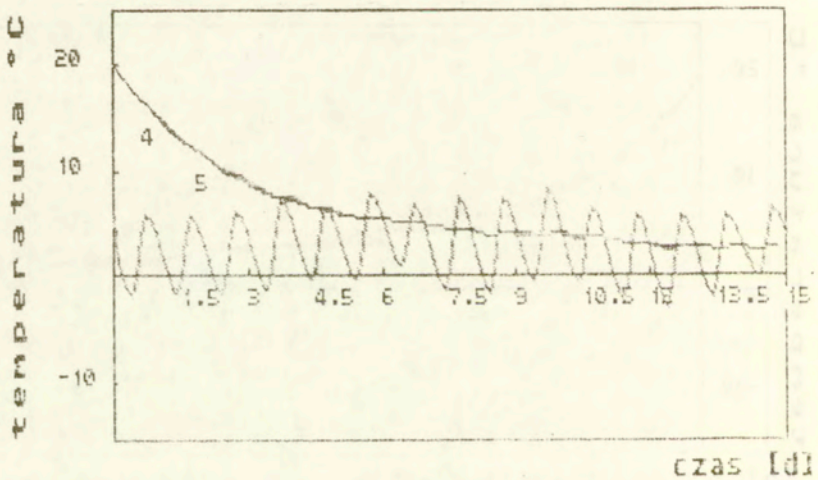


Wykres 4.16. Charakterystyka stygnięcia bloków 1, 3 i 8 Zakopane, 1 - 15 listopada.

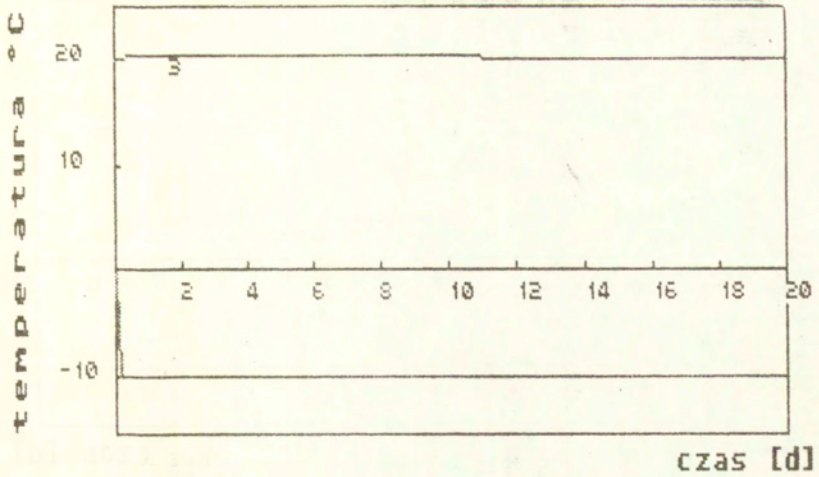




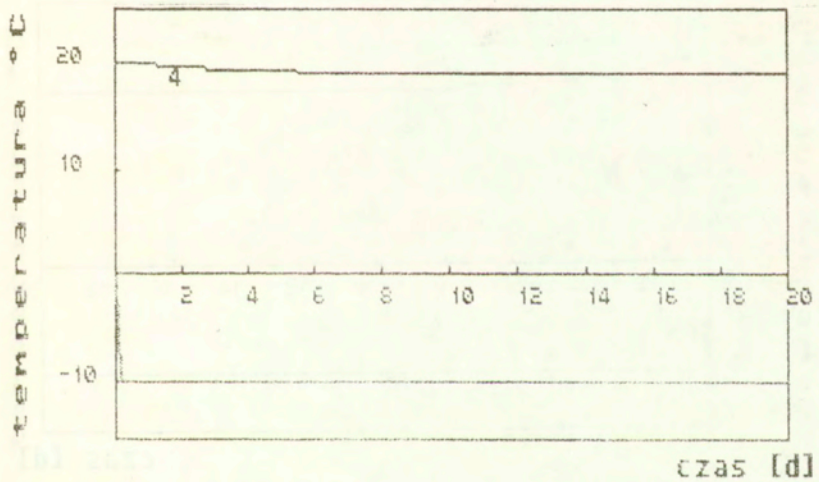
Wykres 4.17. Charakterystyka stygnięcia bloków 2, 6 i 7 Zakopane, 1 - 15 listopada.



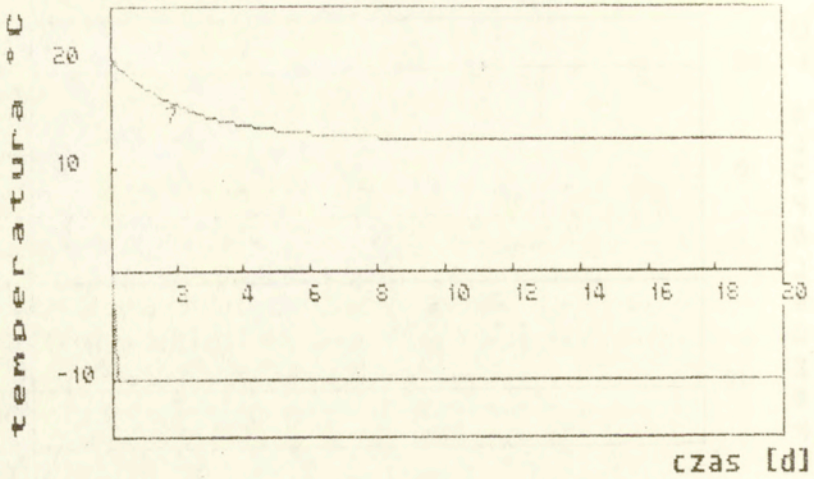
Wykres 4.18. Charakterystyka stygnięcia bloków 4 i 5 Zakopane, 1 - 15 listopada.



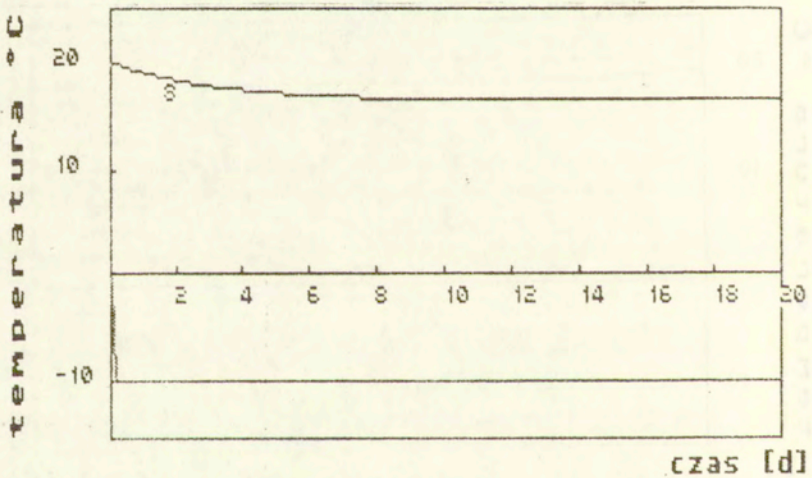
Wykres 4.19. Ustalone ogrzewanie bloku nr 3 przy stałej temperaturze zewnętrznej  $-10^{\circ}\text{C}$ .



Wykres 4.20. Ustalone ogrzewanie bloku nr 4 przy stałej temperaturze zewnętrznej  $-10^{\circ}\text{C}$ .

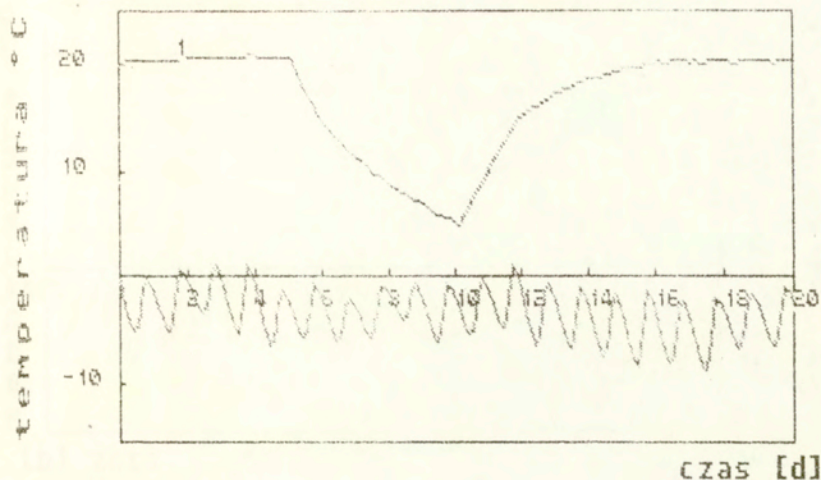


Wykres 4.21. Ustalono ogrzewanie bloku nr 7 przy stałej temperaturze zewnętrznej  $-10^{\circ}\text{C}$ .

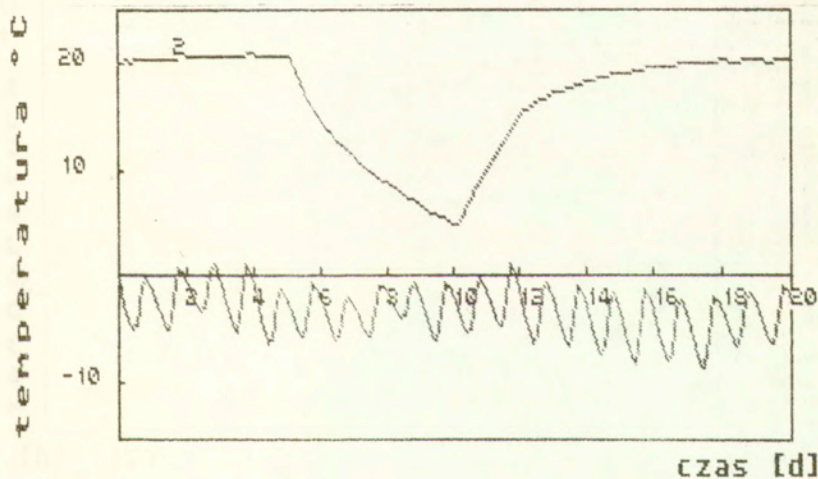


Wykres 4.22. Ustalono ogrzewanie bloku nr 8 przy stałej temperaturze zewnętrznej  $-10^{\circ}\text{C}$ .

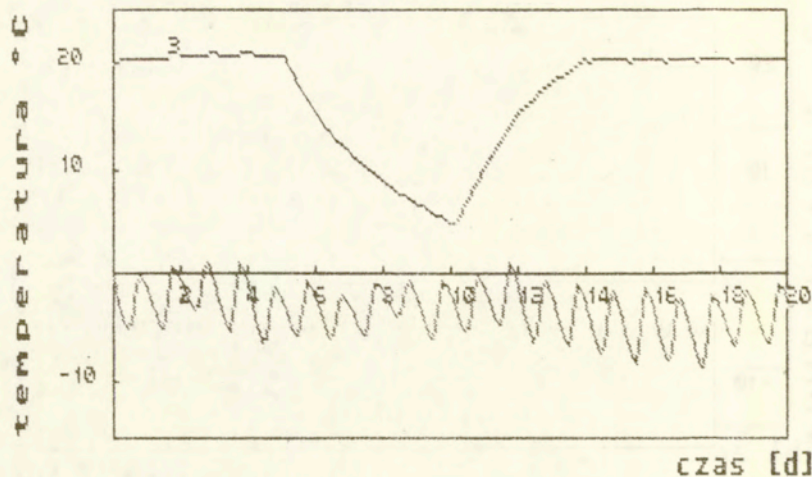




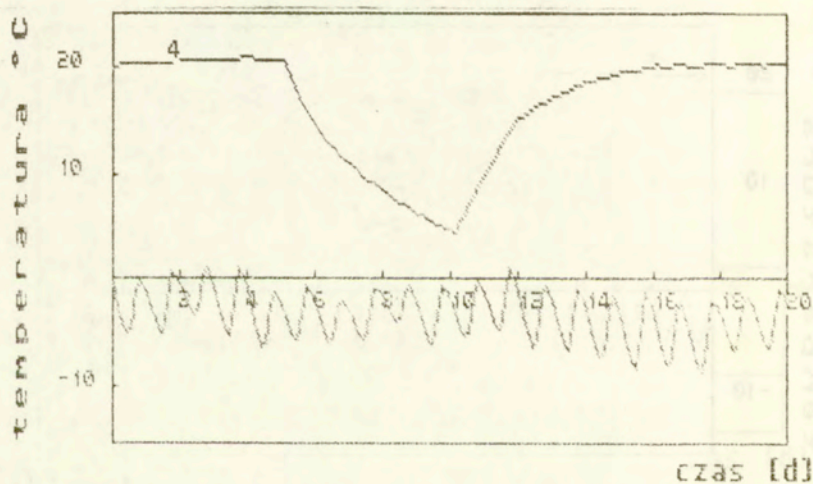
Wykres 4.23. Przebieg stygnięcia i ogrzewania bloku po awarii ogrzewania 5 i usunięciu jej 10 stycznia. Blok 1 - Warszawa.



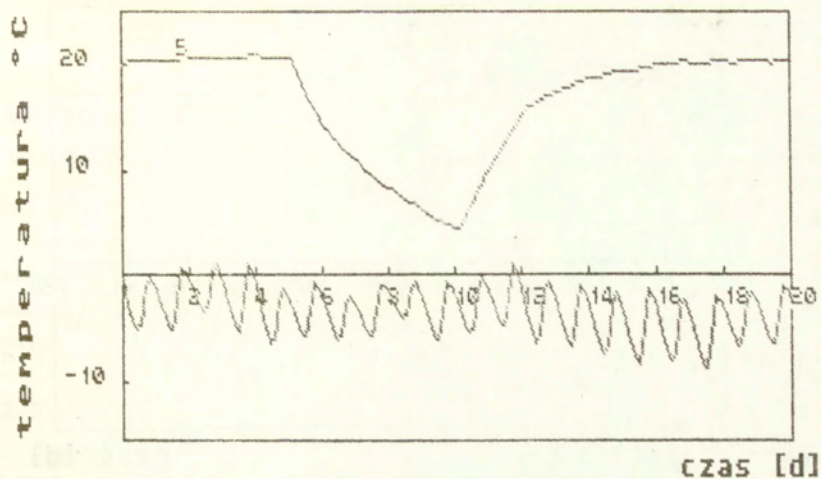
Wykres 4.24. Przebieg stygnięcia i ogrzewania bloku po awarii ogrzewania 5 i usunięciu jej 10 stycznia. Blok 2 - Warszawa.



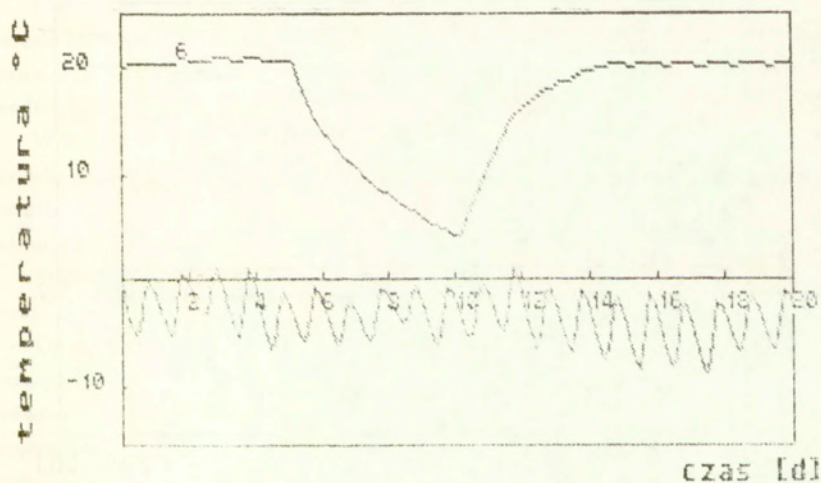
Wykres 4.25. Przebieg stygnięcia i ogrzewania bloku po awarii ogrzewania 5 i usunięciu jej 10 stycznia. Blok 3 - Warszawa.



Wykres 4.26. Przebieg stygnięcia i ogrzewania bloku po awarii ogrzewania 5 i usunięciu jej 10 stycznia. Blok 4 - Warszawa.



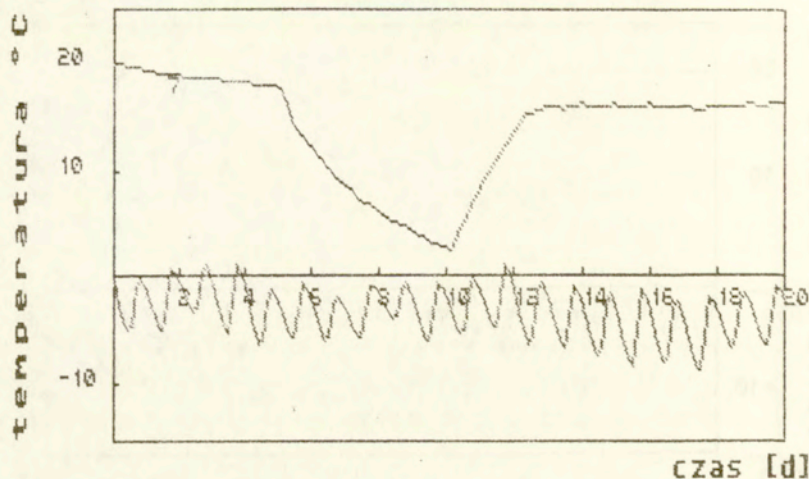
Wykres 4.27. Przebieg stygnięcia i ogrzewania bloku po awarii ogrzewania 5 i usunięciu jej 10 stycznia. Blok 5 - Warszawa.



Wykres 4.28. Przebieg stygnięcia i ogrzewania bloku po awarii ogrzewania 5 i usunięciu jej 10 stycznia. Blok 6 - Warszawa.



70



Wykres 4.29. Przebieg stygnięcia i ogrzewania bloku po awarii ogrzewania 5 i usunięciu jej 10 stycznia. Blok 7 - Warszawa.



Wykres 4.30. Przebieg stygnięcia i ogrzewania bloku po awarii ogrzewania 5 i usunięciu jej 10 stycznia. Blok 8 - Warszawa.