

**WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ**

Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska

**BADANIA EFEKTYWNOŚCI
WYKORZYSTANIA ENERGII GRUNTU
W INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

Rozprawa doktorska

mgr inż. Maciej Besler

PROMOTOR: prof. dr hab. inż. Janusz Jeżowiecki

Wrocław, maj 1997 r.

D Y R E K T O R

**Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska
Politechniki Wrocławskiej**

uprzejmie informuje

że w dniu 14.07.1997r. o godz. 12⁰⁰ w sali 6 w budynku D-2,

we Wrocławiu przy pl. Grunwaldzkim 9, odbędzie się

publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgra inż. MACIEJA BESLERA

na temat: "Badania efektywności wykorzystania energii gruntu
w inżynierii środowiska".

PROMOTOR: Prof. dr hab. inż. **JANUSZ JEŻOWIECKI** Politechnika Wrocławska

RECENZENCI: Prof. dr hab. inż. **TERESA JĘDRZEJEWSKA-ŚCIBAK** Politechnika
Warszawska

Prof. dr inż. **FERDYNAND DEMBECKI** Politechnika Poznańska

Praca do wglądu w Bibliotece Głównej PWr., ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
oraz w Bibliotece Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych
w budynku C-6, przy ul. Norwida 4/6.

Z-ca Dyrektora Instytutu
d/s Dydaktyki i Kształcenia Kadry Naukowej

Dr inż. Jacek Włodarczyk

*Szanownemu Panu Profesorowi Januszowi Jeżowieckiemu
składam serdeczne podziękowania za cenne rady
oraz mobilizację do ukończenia pracy doktorskiej.*

Maciej Besler

Spis treści:

strona

1. Wprowadzenie	4
2. Geneza podjęcia badań nad pozyskiwaniem energii z gruntu	10
3. Cel i teza pracy	15
4. Przegląd teorii wymienników	16
4.1. Elementy opisujące układy wymiany energii lub składników	18
4.2. Obliczenie wymiennika - opis wymiennika	19
4.2.1. Opis na podstawie danych doświadczalnych	19
4.2.2. Opis na podstawie obliczania oporów	20
4.2.3. Opis na podstawie wyznaczania równań ogólnych	21
4.3. Mechanizmy rozchodzenia się energii i składników	21
4.3.1. Konwekcja	22
4.3.2. Transport molekularny	22
4.3.3. Transport turbulentny (burzliwy)	22
4.3.4. Transport energii przez promieniowanie	23
4.3.5. Rozchodzenie się w układach wielofazowych	24
4.3.6. Komplikacje w mechanizmach rozchodzenia się układzie wielofazowym na tle układu jednofazowego	24
5. Rozwój teorii modelowania matematycznego wymienników	25
5.1. Podsumowanie	27
6. Budowa i działanie wymienników gruntowych	29
7. Wyniki pomiarów, opracowanie i analiza	36
8. Analiza wyników badań	39
8.1. Wybór warunków klimatycznych dla ocen efektów ekonomicznych uzdatniania powietrza w wymiennikach gruntowych	40
8.1.1. Rok reprezentatywny ASHRAE	41
8.1.2. Metoda TRY- Berlin	42
8.1.3. Metoda uproszczona	43
8.2. Wybór danych do badań efektywności	43
8.3. Oznaczenia na wykresach zmian parametrów powietrza (rys. 16 do 38)	45
9. Założenia do badań efektywności	69
10. Koszty inwestycyjne	72
10.1. Instalacja z BGWC i M	72
10.2. Instalacje bez BGWC i M	73
11. Koszty eksploatacyjne	74
12. Wykonanie gruntowych wymienników	75
13. Instalacja z BGWCiM	79
13.1. Koszty inwestycyjne	79
13.1.1. Koszty inwestycyjne wykonania wymiennika gruntowego	79
14. Ceny jednostkowe materiałów i robocizny potrzebnych do wykonania wymiennika	79
14.1. Koszty inwestycyjne BGWCiM	81
14.1.1. Koszty nagrzewnic powietrza	81
14.1.2. Koszty przepustnic powietrza	84
14.2. Koszty eksploatacyjne	84
14.2.1. Koszty ogrzewania powietrza wentylacyjnego	84
15. Instalacja bez BGWCiM	85
15.1. Koszty inwestycyjne	85
15.1.1. Koszty nagrzewnic powietrza	85

15.1.2. Koszty chłodziń powietrza	86
15.1.3. Koszty agregatów chłodzińczyh	86
15.2. Koszty eksploatacyjne	86
15.2.1. Ciepło do nagrzewnic powietrza	86
15.2.2. Koszty energii chłodzińczej	87
16. Porównanie kosztów instalacji z zastosowaniem BGWCiM oraz tradycyjnej w warunkach polskich	89
17. Obliczenia dla warunków niemieckich	91
17.1. Koszty eksploatacyjne	91
17.1.1. Koszty ogrzewania powietrza wentylacyjnego	91
17.1.2. Koszty energii chłodzińczej	92
17.2. Porównanie kosztów instalacji z zastosowaniem BGWCiM oraz tradycyjnej w warunkach niemieckich	92
18. Analiza ekonomiczna	95
18.1. Warunki polskie	95
18.2. Warunki niemieckie	96
18.2.1. Okres zwrotu kapitału	96
18.2.2. Czas trwania amortyzacji	97
19. Koszty ochrony środowiska	98
20. Przykład obliczeniowy dla wentylacji teatru	102
20.1. Całkowite koszty instalacji bez BGWCiM	102
20.2. Całkowite koszty instalacji z BGWCiM	103
21. Zastosowanie BGWCiM dla wykorzystania w domkach jednorodzinnych	104
22. Badania czystości powietrza uzdatnionego w BGWCiM	105
22.1. Badania dotyczące radonu	105
22.2. Badania mikrobiologiczne	106
23. Referencje o działaniu BGWCiM	108
24. Wnioski	109
25. Literatura:	111

1. Wprowadzenie

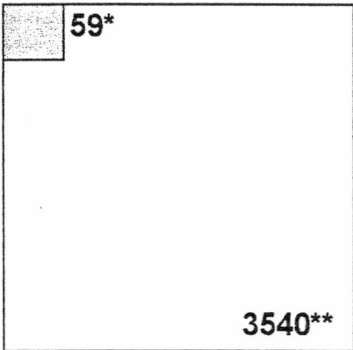
Potrzeby energetyczne w kraju i na świecie są współcześnie zaspokajane głównie poprzez spalanie surowców kopalnych. Utrzymanie tego stanu rzeczy w dalszej perspektywie jest niemożliwe z dwóch powodów. Jednym jest wyczerpywanie się zasobów kopalnych surowców energetycznych, których wystarczy według najnowszych źródeł na ok. od kilkudziesięciu lat (gazu i ropy) do 200 lat (węgla). Uwidacznia to dolna część tabeli z rys. 1. Gdyby jednakże nawet przyjąć, że wobec odkrycia nowych złóż gazu, ropy i węgla tych zasobów jest na znacznie więcej lat (patrz prawa część tabeli z rys. 1), to stajemy przed kolejną barierą, tzw. barierą przetwarzania. Środowisko naturalne nie jest już w stanie wchłonać produktów spalania, zwłaszcza takich jak CO_2 , SO_2 , NO_x , bez skutków ubocznych, z których najbardziej zgubne są kwaśne deszcze oraz - jak sądzi większość - globalne ocieplenie.

Nadmienić jednak należy, iż ostatnio zdania są wyraźnie podzielone. Dużo zwolenników zdobywa coraz silniej potwierdzana teoria grupy meteorologów skupionych w organizacji „Weather Action”, kierowanej przez Piersa Corbyna [7]. Ci meteorolodzy - optymiści - twierdzą, iż powodem globalnego ocieplenia są anomalie klimatyczne, a nie efekt cieplarniany wywołany emisją zanieczyszczeń. Na dowód przytaczają badania grenlandzkiej skorupy lodowej, z których wynika, iż podwyższeń temperatury w historii Ziemi było już wiele. W kolejnych bowiem warstwach można odczytać dokładne ślady warunków panujących w przeszłości i co istotniejsze zdarzenia w historii Ziemi, z wybuchami wulkanów włącznie. Głębokie odwierty ujawniły zmiany średniej temperatury w ciągu roku nawet o 7 K, zaś 8200 lat temu nastąpiło ochłodzenie o 4 °C, które trwało przez 200 lat. W świetle tych badań członkowie grupy „Weather Action” twierdzą, że obecny niewielki wzrost temperatury na naszym globie należy przypisać raczej zmianom aktywności słonecznej niż działalności człowieka, i że „efekt cieplarniany istnieje jedynie w wyobraźni żądnych sensacji.”

Nawet ostateczne potwierdzenie tej teorii nie powinno jednakże zwalniać od ograniczenia spalania surowców energetycznych. Trzeba bowiem zadbać o zachowanie czystości środowiska oraz o zachowanie wyczerpujących się kopalnych zasobów energii dla naszych następców.

Polska ma obecnie zainstalowane 33.000 MW mocy, z czego prawie 60 % stanowią elektrownie pracujące na węglu kamiennym, 27 % na węglu brunatnym, a tylko 6 % energii elektrycznej wytwarzane jest w elektrowniach wodnych, co uwidacznia wykres na rys. 2.

Światowe zasoby energii pierwotnej - surowce kopalne, w przeliczeniu na wartości paliwa umownego

Zasoby - pewne do pozyskania	Zasoby - dodatkowo możliwe do pozyskania
w mld t p.u. Węgiel  566 Ropa  204 Gaz ziemny  173 Uran naturalny pozyskiwany po kosztach do 130 US \$/kg  59* 3540**	w mld t p.u. Węgiel 7044 Ropa 113 Gaz ziemny 262 Uran 49* 2914**

1 mld t p.u. = $29,3 \times 10^{12}$ MJ Energia równoważna: 1t Uran = 20 000 t p.u.

Statystyczne zapasy pewnych do pozyskania zasobów kopalnych wg światowego zużycia w 1994 r.

Węgiel na ok. 184 lata



Ropa na ok. 45 lat



Gaz ziemny na ok. 66 lat



Uran na ok. 88 lat*

5280 lat**



Źródło: Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 1995,
BMW, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Bonn, Sept. 1995

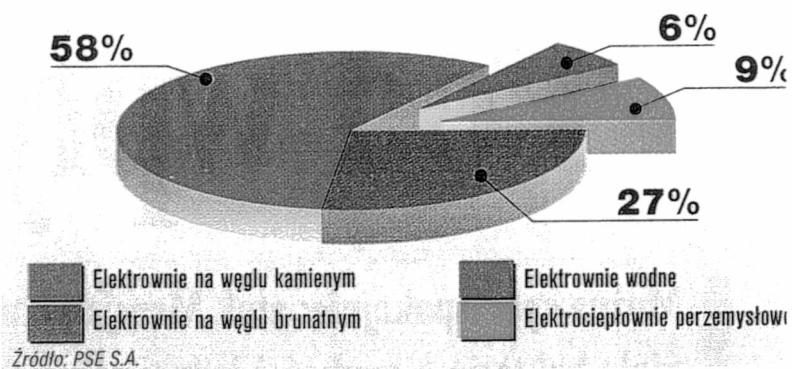
* Użytkowane bez regeneracji.

** Zapasy uranu można powiększyć nawet 60 krotnie, jeśli przy użytkowaniu w reaktorach na lekką wodę zastosować regenerację.

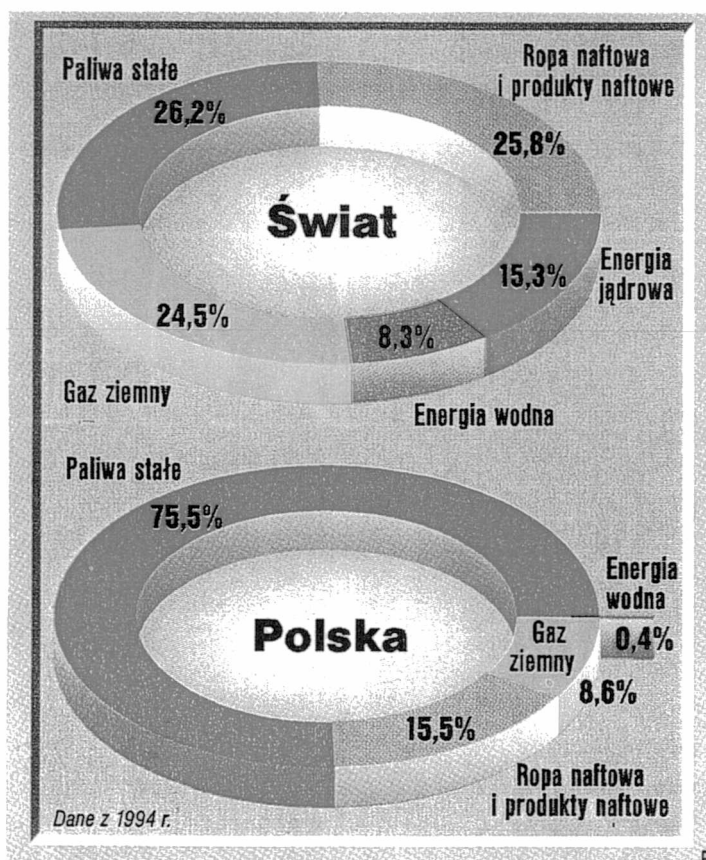
Rys. 1. Światowe rezerwy paliwowe energii pierwotnej.

Polska moc

Moc zainstalowana: 33 000 MW, w tym elektrownie zawodowe 30 000 MW



Rys. 2. Struktura wytwarzania energii w Polsce w 1994 r.



Rys. 3. Struktura zużycia paliw na Świecie i w Polsce.

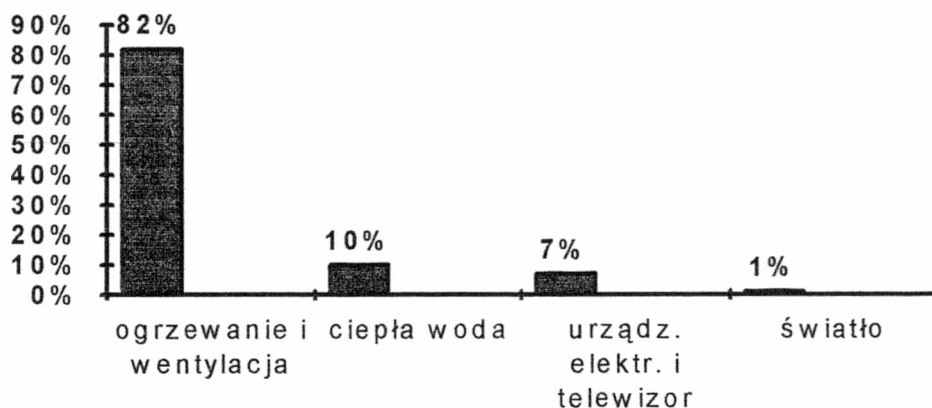
Zwrócić jednakże należy uwagę na specyficzną, bardzo niekorzystną dla środowiska naturalnego strukturę zużycia paliw do produkcji energii w Polsce na tle światowego zużycia tych paliw. Dane pochodzą z 1994 r.

Przedstawione na rys. 3 wykresy kołowe obrazują to zużycie. Wyraźnie wskazują, że w Polsce produkcja energii w 75,5 % oparta jest na paliwach stałych, to znaczy na węglu kamiennym i brunatnym. Tymczasem średnio w świecie paliwa stałe są źródłem produkcji jedynie ok. 26 % energii.

Podczas gdy świat w około 25 % produkuje energię z gazu, tego najmniej szkodliwego surowca kopalnego, a następne 25 % z ropy i produktów naftowych, to w Polsce z gazu pochodzi jedynie 8,6 % energii i tylko 15,5 % z ropy i jej pochodnych. Ostatnimi czasy sytuacja zmienia się, lecz efekty będą widoczne dopiero po wielu latach.

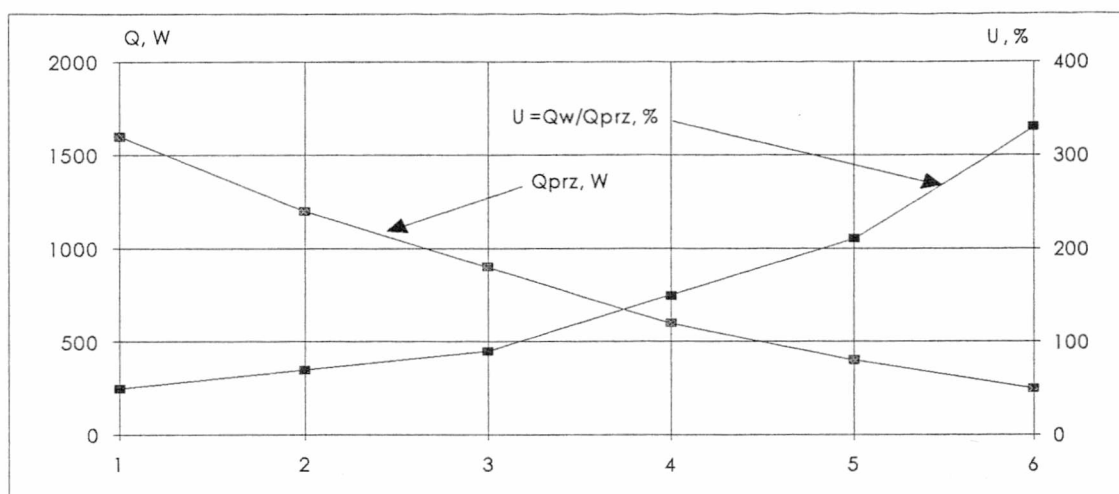
Analiza struktury zużycia energii w uprzemysłowionych krajach strefy europejskiej wykazuje, iż z całkowitej produkcji energii ponad 40 % przypada na cele kształtowania mikroklimatu [7], reszta na przemysł, transport i inne.

Natomiast w gospodarstwach domowych rozwiniętych krajów środkowo-europejskich zużycie energii przedstawia się jak na załączonym rys. 4.



Rys. 4. Struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych.

Można zauważyć iż ostatnio, w wyniku poprawy wymaganej izolacyjności przegród budowlanych w budynkach (PN-2020), nastąpił znaczny spadek strat ciepła przez przenikanie. Jednocześnie w całkowitym zapotrzebowaniu ciepła wzrósł udział ciepła na potrzeby wentylacji (rys. 5 [9]). Wzrosły również potrzeby, a także wymagania dotyczące jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń [54]. Poprawa izolacyjności cieplnej ścian, stosowanie izolacji nieprzepuszczalnej dla powietrza (styropian, tynki akrylowe), a w szczególności



Rys. 5. Procentowy wzrost udziału ciepła wentylacyjnego w stosunku do strat drogą przenikania $U = Q_w/Q_{prz}$ % oraz spadek strat ciepła drogą przenikania w ciągu ostatnich lat Q_{prz} - dla przypadków 1-6 rozważanych w publikacji [9].

stolarki okiennej bardziej szczelnej, powodują znaczne ograniczenie strumienia powietrza przedostającego się do pomieszczeń poprzez infiltrację. W związku z tym często wymiana powietrza drogą infiltracji nie wystarcza i konieczne staje się doprowadzenie powietrza z zewnątrz w sposób wymuszony.

Potrzeba wentylacji mechanicznej wynika również z powszechnego stosowania do wykończenia wnętrz materiałów wydzielających, często jeszcze przez długie okresy po czasie produkcji, zapachów i substancji szkodliwych dla zdrowia. Źródłem ich są materiały budowlane (cement, pustaki, beton, nawet cegła mają dosyć dużą promieniotwórczość) a zwłaszcza farby, kleje, wykładziny, dywany i meble, wydzielające szkodliwe dla zdrowia substancje.

Wszystkie materiały budowlane zawierają naturalne substancje promieniotwórcze. Jednakże wraz z widoczną tendencją do większego stosowania w budownictwie produktów ubocznych przemysłu hutniczego oraz odpadów z elektrowni (żużel, lotne popioły) materiały te cechuje coraz większa radioaktywność. W efekcie rośnie ekspozycja na promieniowanie jonizujące w budynkach.

W związku z powyższymi niedopuszczalne jest zmniejszanie strumienia powietrza zewnętrznego dla uzyskania oszczędności energii. Wypada tu wspomnieć, iż wprowadzone w USA w 1981 r. ograniczenie strumienia powietrza zewnętrznego do 8,5 m³/h na osobę powodowało dyskomfort i tzw. chorobę pomieszczeń (sick building syndrome, określaną przez Niemców jako "Gebäudekrankheit") i od 1987 r. proponuje się w USA aż 35 m³/h i osobę powietrza zewnętrznego [24].

Należałoby zaprzestać również zawracania powietrza w wentylacji (zaprzestać wentylowania mieszaniną powietrza powrotnego z zewnętrznym), gdyż jest to pozorowanie poprawy świeżości powietrza. W Szwecji np już zakazano stosowania powietrza powrotnego w obiegu. Sądzić należy, że i u nas w niedługim czasie pojawią się odpowiednie przepisy w tej sprawie.

Jest natomiast kilka sposobów zmniejszenia zapotrzebowania ciepła dla wentylacji. Są to:

- odzysk ciepła ze strumienia powietrza wywiewanego (wymienniki obrotowe, krzyżowe itp); w niektórych krajach są to rozwiązania obligatoryjnie wprowadzane przepisami,
- recyrkulacja powietrza usuwanego z pomieszczeń; obecnie - jak wspomniano - odchodzi się od tej metody,
- wykorzystanie odnawialnej naturalnej energii z otoczenia (ciepło z gruntu, powietrza, wód gruntowych).

Dążenia do wykorzystania naturalnej odnawialnej energii, pozyskiwanej w sposób przyjazny albo nieuciążliwy dla środowiska winny być szczególnie preferowane. Jednym ze sprawdzonych jest oryginalny sposób pozyskiwania energii dla celów termowentylacji i klimatyzacji z nieznacznej głębokości gruntu, przedmiot rozważań w poniższej pracy.

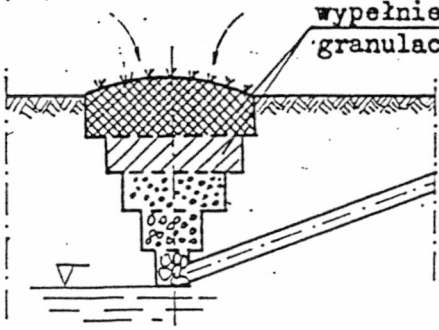
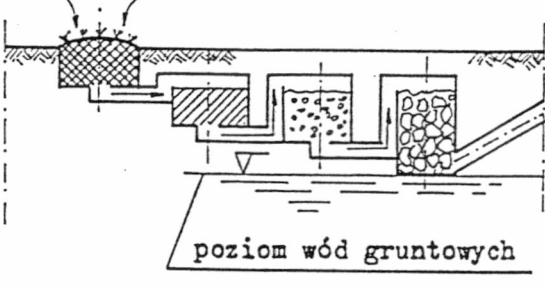
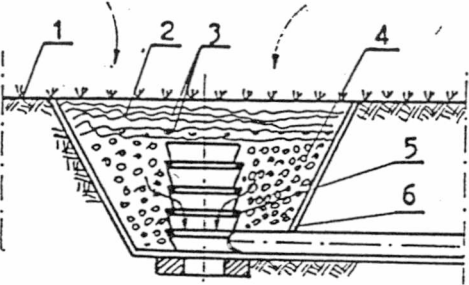
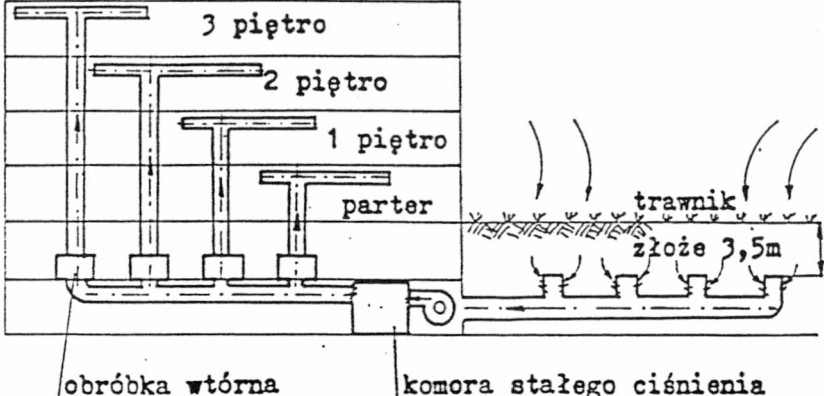
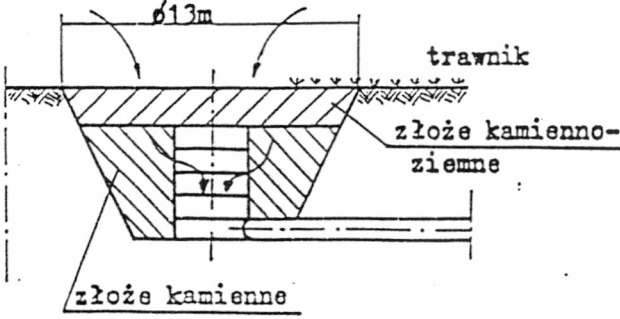
2. Geneza podjęcia badań nad pozyskiwaniem energii z gruntu.

Pozyskiwanie energii cieplnej z dużych głębokości Ziemi znane jest już od dawna. Wykorzystywany jest w tym przypadku fakt wzrostu temperatury wraz ze wzrostem głębokości. Przykłady użytkowania ziemi jako magazynu niewyczerpalnej energii datują się już w XVI w [26]. Jedne z najwcześniejszych rozwiązań stosowano we Włoszech. W miejscowości Landerello w roku 1827 użyto do odparowania boru z gorących źródeł ciepła z naturalnej pary wodnej w zastępstwie używanego do tej pory drewna opałowego. Coraz powszechniej używa się do celów ciepłowniczych ciepła wód geotermalnych, nawet na skalę średniej wielkości miast [31]. Energię geotermiczną można jednak wykorzystywać jedynie do celów grzewczych, a więc praktycznie w okresie zimnym. W okresie ciepłym, dla celów klimatyzacji energia ta jest nieprzydatna. Tymczasem z niewielkiej głębokości gruntu można pozyskać energię również w postaci chłodu np. dla celów wentylacji i klimatyzacji.

Pierwsze urządzenia w postaci bezprzeponowych gruntowych wymienników ciepła i masy nazywano gruntowymi ujęciami powietrza. Zasada ich działania polegała na tym, że powietrze dla celów klimatyzacji i wentylacji pobierane było nie bezpośrednio z zewnątrz (z atmosfery) ale poprzez grunt. Ujęcie wykonywane było np. w postaci ażurowej rury (komory) umieszczonej na głębokości $3 \div 4$ m. Powietrze przepływa przez ujęcie dzięki wytworzonemu przez wentylator podciśnieniu.

Inspiracją podjęcia badań nad wykorzystaniem ciepła i chłodu z niewielkiej głębokości gruntu dla kształtowania mikroklimatu były wyniki uzyskane w instalacjach filtracji powietrza przez Sorga i Kellera ze Szwajcarii (1939) [49], oraz przez Vallona [51] z Niemiec (Patent firmy R. Mayer 1970), przedstawione przez Ohma [38] w 1969 r., a także wyniki badań na podobnych urządzeniach przedstawione przez Tomöry [50] (Budapeszt 1970 r.), zwanych Air Fountain. W roku 1941 r. L. Motzko przedstawił projekt dotyczący wykorzystania chłodu i ciepła z ziemi i powietrza [35].

Sposoby rozwiązań oraz uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 6 i w opisie do tego rysunku. Można zauważyć, że we wszystkich przypadkach są to rozwiązania z pionowym przepływem powietrza przez złoża. Takie rozwiązania, pomimo uzyskiwanych bardzo dobrych efektów termicznych (ochładzanie od 32°C do 19°C i wstępny podgrzew od -12°C do $\pm 0^{\circ}\text{C}$), nie znalazły powszechnego zastosowania z racji bardzo dużych oporów przepływu, dochodzących do 2000 Pa. Również wzorcowa instalacja wdrożona w Klinice Chorób

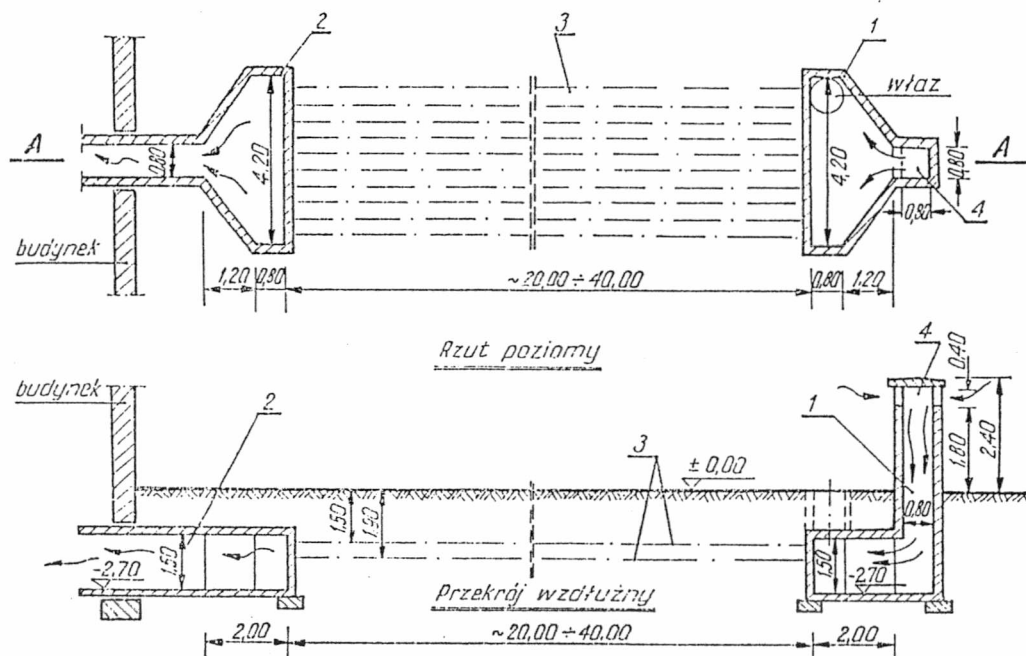
Autor rozw.	Schemat	Uwagi
Otto Sorg i Jules Robert Keller (Szwajcaria, 1939). Urządzenie do filtracji powietrza.		dla niskiego poziomu wód gruntowych
		dla wysokiego poziomu wód gruntowych
Hans Vallon(RFN, 1964) patent firmy Otto- Meyer 1970		1. trawnik, 2. humus, 3. warstwy specjalne z wy- pełniaczami i stabiliza- torami, 4. wypełnienie akumulacyjne, 5. pierścienie z otworami wlotowymi, 6. ścianka oporowa.
Rozwiązanie dla Kliniki Chorób Kobiecych w Heilbronn (RFN).		prędkość napływu $v = 0,016 \text{ m/s}$, lato: $t_1 = 32^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 60\%$, $t_2 = 18-19^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 80\%$; zima: $t_1 = -12^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 100\%$, $t_2 = 0^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 80-90\%$, 1-wyjęcie, 2-wyjście
Tibor Tömöry, Naukowy Instytut Budownictwa ETI, Budapeszt (Węgry, 1970).		prędkość napływu $v = 0,008 \text{ m/s}$, lato: $t_1 = 20-26^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 60-70\%$, $t_2 = 17-19^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 70-80\%$; zima: $t_1 = (-6)-2^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 100\%$, $t_2 = 4-6^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 90-95\%$

ys. 6. Schematy ideowe gruntowych ujęć z pionowym przepływem powietrza.

Kobiecych w Heilbronn, wykonana według reguł Vallona i nadzorowana przez inż. Egona Mayera została w swej istocie wyłączona z eksploatacji. Nie do pokonania okazały się bardzo duże i rosące wciąż opory przepływu powodowane zamulaniem złóż w wyniku opadów atmosferycznych (deszcze, śniegi). Duże były również ograniczenia stosowania ze względów budowlanych. Specjalne warstwy gruntu o dużej stabilności musiały być umiejscowione na głębokości rzędu 4 m poniżej poziomu terenu, gdzie już najczęściej kłopoty sprawia wysoki poziom wód gruntowych. Gwałtownie rosły opory. Trawnik wymagał latem pielęgnacji, zwłaszcza podlewania. Zimą zamarzał.

Rozwiązanie wykorzystujące energię gruntu, dla wstępnego podgrzewania lub ochładzania powietrza wentylacyjnego dla budynku banku w Wiedniu, przedstawił Panzhauser [40]. Wymiennikiem była część podpodłogowa parteru budynku. Czas pracy wynosił 10 godzin na dobę, a strumień powietrza wentylacyjnego $8000 \text{ m}^3/\text{h}$. W wyniku tego rozwiązania zaoszczędzono w sezonie zimowym ponad 31 % ciepła, natomiast w letnim 89 % całkowitego zapotrzebowania chłodu. Oszczędności energii w skali roku obliczono na 43 %. Wyliczony okres zwrotu kapitału wynosił 4,8 lat.

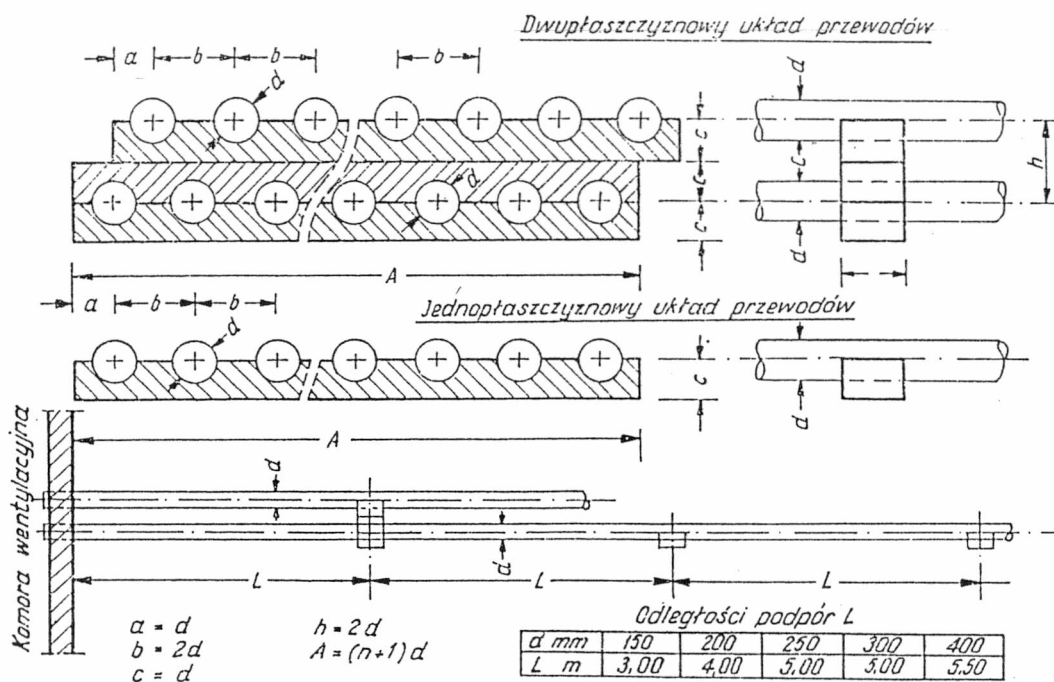
Istnieją różne sposoby wykorzystania ciepła zakumulowanego w podpowierzchniowej warstwie ziemi. Są w tym celu stosowane wymienniki przeponowe i bezprzeponowe. W wymienniku przeponowym odbywa się to poprzez wymianę ciepła pomiędzy przepływającym powietrzem zewnętrznym prowadzonym w kanałach umieszczonych pod powierzchnią gruntu. Przykładowe rozwiązanie takiego wymiennika przedstawiono na rys. 7 [25]. Na rys. 7a pokazano schemat rozmieszczenia podpór betonowych stabilizujących przewody główne wymiennika przeponowego. Jest to - jak widać - konstrukcja żelbetowa dość droga, pracochłonna i wykonana przy zastosowaniu energochłonnych materiałów. Zmiany parametrów powietrza uzależnione są od wielu czynników, ale sprowadzają się głównie do zmiany temperatury powietrza w wyniku zachodzącej wymiany ciepła. Zmiany temperatury powietrza zależą od konstrukcji wymiennika, głębokości jego umieszczenia pod powierzchnią terenu, warunków glebowych (przewodności cieplnej i zawilgocenia) oraz od sposobu eksploatacji (praca ciągła lub okresowa). Przewody stosowane do konstrukcji tych wymienników muszą być odporne na warunki panujące w gruncie i nie ulegać zużyciu przez wiele lat. Materiał powinien charakteryzować się jak największym współczynnikiem przewodzenia ciepła i nie może wydzielać szkodliwych, bądź nieprzyjemnych zapachów. Proponowane na przewody są: żeliwo lub stal (zabezpieczone odpowiednio przed korozją), kamionka, beton i tworzywa sztuczne. Stosowane są średnice przewodów w granicach od 0,1



Przeponowy wymiennik gruntowy typu PWG
 1-komora wejściowa,
 2-komora wyjściowa,
 3-przewody podstawowe (20 szt. rur $\phi 200$),
 4-czerpnia powietrza.

Rys. 7. Przykład przeponowego wymiennika gruntowego.

1- komora wejściowa, 2- komora wyjściowa, 3- przewody podstawowe (20 szt. $\phi 200$), 4- czerpnia.



Rys. 7a. Rozwiązanie konstrukcji podpór betonowych przeponowego wymiennika gruntowego.

do 0,8 m. Drogi przepływu powietrza dochodzą do kilkudziesięciu metrów, a prędkości przepływu są przyjmowane w granicach $3 \div 7$ m/s.

Bardziej sprawne są bezprzeponowe wymienniki, w których zachodzi zarówno wymiana ciepła jak i masy i tym poświęcono szczególną uwagę.

Wiele lat badań poświęcono na opracowanie rozwiązania eliminującego wszystkie przedstawione niedogodności wymienników gruntowych, by umożliwić pozyskiwanie w prosty sposób, przy znikomych oporach przepływu naturalnej energii gruntu (a zwłaszcza chłodu z gruntu) dla kształtowania mikroklimatu. Rozwiązaniem, jak się wydaje optymalnym, jest bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy (BGWCiM) będący przedmiotem analizy.

3. Cel i teza pracy.

W Politechnice Wrocławskiej od ponad 16 lat prowadzone są badania nad pozyskiwaniem naturalnej energii z nieznaczej głębokości gruntu dla celów termowentylacji lub klimatyzacji. Od 12 już lat współuczestniczę przy pracach dotyczących pozyskiwania naturalnej energii z niewielkiej głębokości gruntu. Zacząłem od badań nad akumulacją ciepła w złożach kamiennych. Potem było wdrażanie rozwiązań oraz badania bezprzeponowych gruntowych wymienników ciepła i masy (BGWCiM).

W wyniku wieloletnich poszukiwań i prac badawczych opracowano oryginalny sposób pozyskiwania energii gruntu. Rozwiązanie to, nazwane bezprzeponowym gruntowym wymiennikiem ciepła i masy (BGWCiM) uzyskało patenty krajowe [4] oraz zagraniczne w RFN i Szwajcarii [5], gdzie występuje pod nazwą Membranloser Boden- Wärme - und Stoffaustauscher (MBWSA). Rozwiązanie, aczkolwiek - tak się wydaje - dość dobrze rozpropagowane w kraju [12, 14, 11] i za granicą [10, 16, 6] nie znalazło jeszcze dostatecznie licznych wdrożeń.

Wspomniane badania i wdrożenia nie zostały jednak dotąd uwieńczone rzetelną i kompleksową analizą i oceną efektywności działania bezprzeponowych gruntowych wymienników ciepła i masy. Próba wypełnienia tego braku jest ogólnie sformułowanym zagadnieniem naukowym stanowiącym przedmiot tej pracy. Jest to zadanie ważne, gdyż jego rozwiązanie pozwoli kształtować zarówno koncepcje w zakresie prowadzenia dalszych badań bezprzeponowych gruntowych wymienników ciepła, jak też ustalić strategię ich szerokiego wdrażania do praktyki inżynierskiej.

Celem pracy jest więc analiza opłacalności pozyskiwania proponowanym sposobem energii z gruntu dla celów kształtowania mikroklimatu pomieszczeń. Wyniki pracy powinny przekonać wszystkich zainteresowanych tym rozwiązaniem o celowości pozyskiwania energii naturalnej w BGWCiM lub o zaniechaniu jego stosowania.

Tezą pracy jest przekonanie, iż pozyskiwanie naturalnej energii z zastosowaniem rozwiązania z bezprzeponowym gruntowym wymiennikiem ciepła i masy jest ze względów ekonomicznych racjonalne, a ze względów społecznych bardzo pożądane (m.in. istotne ograniczenie skażenia środowiska w wyniku znacznego zmniejszenia spalania kopalnych surowców energetycznych).

Dopełniającą tezę pracy jest korzystny wpływ bezprzeponowego gruntowego wymiennika ciepła i masy na energooszczędne kształtowanie mikroklimatu (poprawianie jego parametrów w pomieszczeniach).

4. Przegląd teorii wymienników

W otaczającym nas świecie przebiegają nieustannie procesy przenoszenia ciepła i masy. Wymiana ciepła zachodzi we wszelkiego rodzaju procesach podgrzewania i ochładzania np.: ogrzewanie Ziemi przez Słońce, powietrza atmosferycznego przez Ziemię itd. Wymiana masy występuje równie często. Są to procesy zachodzące w układach wieloskładnikowych i związane z przemieszaniem się składników. Na przykład procesy: rozchodzenia się pary wodnej w powietrzu atmosferycznym, pobierania przez organizmy żywe składników pożywienia albo tlenu z powietrza. Często procesy te zachodzą jednocześnie tworząc proces równoczesnej wymiany ciepła i masy.

Wymiennik jest urządzeniem, w którym oddziałują na siebie układy (dwa lub więcej) rozdzielone między sobą i odizolowane od otoczenia. Oddziaływanie układów przejawia się przez wymianę ciepła, czasem energii wewnętrznej oraz substancji, albo składników i energii wewnętrznej wraz z nimi.

Układ zwie się otwartym kiedy następuje przepływ substancji przez wymiennik. Przy braku przepływu substancji przez wymiennik, układ nosi nazwę zamkniętego.

Niezbędnym atrybutem wymiennika jest granica pomiędzy układami. Dlatego np. urządzenia do podgrzewania wody wodą lub gazu gazem przez ich bezpośredni kontakt nie są wymiennikami ciepła, bo nie występuje granica pomiędzy układami. Granicę rozdziału układów może tworzyć przepona, błona (traktowana jako odrębny element) lub może nią być powierzchnia międzyfazowa (np. wymienniki akumulacyjne). Wymienniki ciepła z tego rodzaju granicą noszą nazwę bezprzeponowych. Są to najczęściej wymienniki ciepła i masy.

Granicę rozdziału można rozpatrywać jako odrębny układ termodynamiczny. Mogą być wykorzystywane jej własności akumulacyjne, co zachodzi np. w wymiennikach regeneracyjnych, adsorberach. Granica może pełnić funkcje kontrolne wymiany pomiędzy układami np. przepuszczać energię tylko w postaci ciepła lub przepuszczać tylko określony składnik układu. Granica powoduje dodatkowy opór przenoszenia ciepła i masy, zarówno w obszarze granicy jak i w jej sąsiedztwie.

Dodatkowym warunkiem koniecznym do wystąpienia wymiany jest wystąpienie różnicy stanów termodynamicznych rozdzielonych układów. Jeden z nich musi posiadać nadwyżkę energii lub składnika, drugi układ musi jednocześnie posiadać niedobór powyższych w stosunku do stanu równowagi. Powszechna w przyrodzie tendencja do wyrównywania różnic

Klasyfikację wymienników przedstawił Brodowicz [18,19]. Można ją przeprowadzić uwzględniając różne kryteria. Pod względem rodzaju wymienianych wielkości można wymienniki podzielić na:

- jednoczesne wymienniki ciepła i masy - w tych wymiennikach granica między układami ma zarówno zdolność do wymiany ciepła jak i niektórych składników układów. Aby zachodziła pełna wymiana, w obu układach muszą występować odpowiednie różnice temperatur i stężeń poszczególnych składników.
- wymiennik masy - w tego rodzaju wymiennikach wymieniane są niektóre składniki układów. W rzeczywistych wymiennikach masy panują również różnice temperatur pomiędzy układami, ale są one nieznaczne w porównaniu z różnicami stężeń poszczególnych składników i przez to możliwe do pominięcia.
- wymiennik ciepła - granica między układami przepuszcza tylko energię w postaci ciepła.

Natomiast przy podziale wymienników wg sposobu realizacji wymiany można wyodrębnić następujące grupy:

- wymiennik o stałym w czasie wymienianym strumieniu - wymienniki takie stosowane są najczęściej w procesach przemysłowych w technologiach ciągłych,
- wymiennik o zmiennym strumieniu wymienianym w czasie pod względem ilości ale stałym kierunku strumienia - tego rodzaju wymienniki znajdują się w zastosowaniach jako wymienniki w procesach jednorazowych. Występuje tu najczęściej jeden układ otwarty o intensywnym przepływie i z niewielką masą substancji znajdującej się w obrębie wymiennika oraz układ drugi zamknięty, o znacznej ilości substancji mającej zdolności akumulacyjne energii lub składnika. Kierunek wymiany jest w tych wymiennikach stały okresowo.
- wymiennik o zmiennym strumieniu wymienianym w czasie pod względem kierunku i ilości - w tych wymiennikach zarówno zwrot jak i wartość chwilowej wymiany zmieniają się w czasie. Może to być wymiennik, w którym oba układy są otwarte i przepływają przez wymiennik naprzemian, lub naprzemian omywają części ruchomego wypełnienia. Wtedy granica rozdziału (np. granica fazy złoża wypełniającego) stanowi element akumulacyjny. Wymiennik może pracować okresowo. Najpierw złożo akumulacyjne opływa układ mający nadwyżki energii lub substancji, a następnie drugi mający ich niedobór. Tego typu wymienniki noszą nazwę regeneratorów. Może również zachodzić przypadek, w którym jeden z układów jest otwarty (np. strumień przepływającego powietrza), a drugi zamknięty

(wypełnienie wymiennika). Zmienność ilości i kierunku wymienianego strumienia wynikać będą ze zmienności parametrów układu otwartego na wlocie do wymiennika.

Wypełnienia mogą być ukształtowane naturalnie lub wykonane ze sztucznych elementów o określonej strukturze. Wypełnienie może stanowić element ciągły w kierunku przepływu płynu lub może stanowić zbiór upakowanych elementów (np. pierścienie, kulki, kamienie).

4.1. Elementy opisujące układy wymiany energii lub składników.

Stan poszczególnych układów opisywany jest poprzez parametry. Są one dwojakiego rodzaju:

- intensywne - np. ciśnienie, temperatura, stężenia poszczególnych składników,
- ekstensywne - np. ilość całkowita substancji, ilość substancji poszczególnych składników, ilość energii.

W układzie otwartym dodatkowo parametrami intensywnymi są strumienie przepływającej substancji, składników i energii. Parametry ekstensywne opisują wielkość układu.

Energia całkowita układu jest sumą szeregu energii cząstkowych: energii wewnętrznej, potencjalnej, kinetycznej, radiacyjnej, powierzchniowej i sprężystej. W wymiennikach ciepła i masy część z nich nie ma dużego znaczenia i jako takie są pomijalne. Energie: potencjalną, kinetyczną, radiacyjną i powierzchniową można pominąć jako niewielkie w porównaniu z energią wewnętrzną i sprężystą. Energia sprężysta występuje tylko w układach otwartych i związana jest z pracą potrzebną do rozprężania układu, gdy następuje wzrost objętości właściwej układu w trakcie przepływu przez wymiennik. Określana jest jako energia przepływu. Gdy substancje są gazami, zmiany energii sprężystej są tego samego rzędu co wewnętrznej, zależnej od temperatury na wejściu i wyjściu.

Zmianę energii całkowitej, czyli entalpii, określa zmiana poszczególnych energii składowych (energii wewnętrznej i sprężystej itp). W przypadku cieczy zmiany energii sprężystej, ze względu na upakowanie cząstek, są pomijalne w porównaniu do zmian energii wewnętrznej. Zarówno energia sprężysta jak i wewnętrzna są parametrami ekstensywnymi. Energia może być magazynowana w substancji układu i w warunkach równowagi można określić jej wartość. W warunkach nierównowagi energia może przepływać zarówno w obszarze jednego układu jak i między układami.

Podstawowym zagadnieniem do rozwiązania przy obliczaniu wymiennika jest określenie oddziaływania układu 1 na układ 2 poprzez układ 3 (granica podziału). Układy 1 i 2 wyodrębnione z otoczenia tworzą powierzchnie granicy rozdziału i powierzchnię obudowy (układ 4). Czasami w obliczeniach należy uwzględnić układ 4 i 5 (otoczenie wymiennika). Ostatni przypadek występuje we wszelkiego rodzaju wymiennikach gruntowych, w których otaczający wymiennik grunt tworzy dodatkową masę akumulacyjną. Energia zawarta w gruncie stanowi również źródło samo regeneracji wymiennika.

4.2. Obliczenie wymiennika - opis wymiennika

Podstawowym narzędziem opisu wszystkich zjawisk przepływowych jest bilans parametrów ekstensywnych w obszarze ograniczonym powierzchnią kontrolną. Bilans jest matematyczną formą ogólnych zasad zachowania fizyki.

4.2.1. Opis na podstawie danych doświadczalnych.

W tym wypadku obliczenie wymiennika to określenie wartości wymienianych wielkości w danym czasie i na danej powierzchni wymiany (granicy podziału) dla zadanych warunków przepływu substancji, parametrów intensywnych i ekstensywnych na wlocie.

Dla wymiennika o stałym czasie i strumieniu wymiany ciepła można określić równania:

$$Q = W_1(T_{11} - T_{12}) = W_2(T_{22} - T_{21}) = kA\Delta T_{sr} = \beta_v V \Delta T_{sr}$$

Zadane są zwykle parametry ekstensywne W_1 i W_2 i intensywne na wlocie T_{11} , T_{21} oraz strumień ciepła Q (albo powierzchnia A). Można również skorzystać ze znanego dla danego wymiennika wsp. k opisującego własności powierzchni granicy podziału lub współczynnika objętościowego β_v odniesionego do objętości wymiennika (stosuje się go przy opisie wymienników masy, gdy nie jest zadana powierzchnia wymiany, a jest zadana objętość wymiennika). ΔT_{sr} jest średnią różnicą temperatur na powierzchni granicy i związana jest funkcyjnie z różnicą temperatur na wlocie i wylocie (średnia logarytmiczna, arytmetyczna itp). Model wykorzystujący dane doświadczalne dla określonego wymiennika opisany powyższym równaniem jest wprawdzie prosty, lecz wymaga znajomości szczegółowych wartości liczbowych. Ma raczej zastosowanie techniczne i często nie posiada wymaganej ogólności.

4.2.2. Opis na podstawie obliczania oporów.

Jednym z istotnych problemów jest wyznaczenie oporów przenoszenia wymienianej wielkości z jednego do drugiego układu. Najczęściej określa się opór wypadkowy będący składową oporów cząstkowych. Mianowicie: oporów wnikania, po jednym z każdej strony granicy i oporu samej granicy. Opory odgrywają podstawową rolę przy formułowaniu opisów, ale przy obliczaniu wymienników stosuje się współczynniki o wartościach związanych z tymi oporami i mającymi polowy charakter na powierzchni wnikania. Opór transportowania strumienia można zapisać analogicznie jak opór w elektrotechnice wynikający z prawa Ohma:

$$\left\{ \frac{\text{strumień przepływający}}{\text{przez powierzchnię}} \right\} = \frac{\{ \text{siła napędowa} \}}{\{ \text{opór} \}} = \frac{D\Psi}{R_n} = \frac{D\Psi}{\frac{1}{\chi} A}$$

W powyższym $D\Psi$ jest odpowiednio skojarzoną z oporem R_n siłą napędową, natomiast χ jest współczynnikiem polowym średnim dla powierzchni A .

Koncepcję opisu wymiennika za pomocą oporu można zapisać na przykładzie transportu energii z wnętrza układu do powierzchni granicy rozdziału. We wnętrzu układu transport energii opisany jest polami prędkości i temperatury. Natomiast proces transportu w rejonie powierzchni granicy rozdziału można opisać następująco: w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni granicy rozdziału, która tworzy powierzchnię wnikania w przestrzeni (z wyłączeniem samej powierzchni) zanika pole prędkości, a transport energii cieplnej opisuje pole temperatury na powierzchni wnikania. Transport ciepła można opisać oporem R_n i siłą napędową ΔT_n , w postaci różnicy temperatur pomiędzy temperaturą powierzchni rozdziału i temperaturą wnętrza układu.

$$Q_n = \frac{\Delta T}{R_n}$$

Jeżeli proces wnikania jest ciągły na powierzchni, to zamiast oporu wnikania wygodniej w obliczeniach używać współczynnika wnikania, szczególnie gdy intensywność wnikania i różnice temperatur są zmienne na powierzchni. Wówczas zachodzi związek $q = \alpha \cdot \Delta T$.

Teoria wymienników posługuje się głównie zapisem opartym na tego typu równaniach. Wykazują one bowiem większy stopień ogólności niż równania oparte o dane doświadczalne i są w stanie uwzględnić indywidualny charakter obliczanych wymienników.

4.2.3. Opis na podstawie wyznaczania równań ogólnych.

Obliczenie na drodze rozwiązania ogólnych równań przenoszenia można zrealizować poprzez rozwiązanie układu równań różniczkowych np. w postaci:

$$\operatorname{div}(\rho_1 v_1) = 0$$

$$v_1 \operatorname{grad} v_1 = \operatorname{grad} \rho_1 - \operatorname{grad} \tau_1$$

$$v_1 \operatorname{grad} T_1 = \operatorname{grad}(-\lambda_1 \operatorname{grad} T)$$

$$\operatorname{div}(\rho_2 v_2) = 0$$

$$v_2 \operatorname{grad} v_2 = \operatorname{grad} \rho_2 - \operatorname{grad} \tau_2$$

$$v_2 \operatorname{grad} T_2 = \operatorname{grad}(-\lambda_2 \operatorname{grad} T)$$

gdzie: indeks 1 oznacza układ pierwszy a indeks 2 układ drugi.

z warunkami brzegowymi na wlocie oraz warunkami zszycia na granicy obszarów w postaci:

$$\lambda_1 (-\operatorname{grad} T_1)_i = \lambda_2 (-\operatorname{grad} T_2)_i$$

Istotą tego opisu jest znaczny stopień ogólności, nie wymagający wprowadzania dodatkowych pojęć w rodzaju oporów określanych w poprzednich metodach. Występujące bowiem w równaniach parametry materiałowe są wielkościami o bardziej ogólnym charakterze, a ich wartości są dostępne w tablicach fizycznych. Całki równań powyższych wyznaczają pola prędkości i temperatur, a tym samym umożliwiają obliczenie wymiennika (choć w obliczaniu wymiennika wystarczy ograniczyć się do gradientów temperatur). Uogólnienie tego ostatniego opisu może nasuwać wątpliwości potrzeby istnienia poprzednich. Jednakże w ramach tak ogólnego opisu mała jest szansa na przeprowadzenie obliczeń.

4.3. Mechanizmy rozchodzenia się energii i składników

Przenoszenie składników lub energii w obrębie jednego z rozpatrywanych układów może mieć różne formy. Najczęściej mamy do czynienia z:

- przenoszeniem konwekcyjnym,
- przenoszeniem molekularnym,
- przenoszeniem turbulentnym,
- przenoszeniem energii przez promieniowanie.

Pierwsze trzy formy dotyczą przenoszenia zarówno energii jak i masy substancji. Natomiast forma czwarta ma charakter odrębny i dotyczy jedynie przenoszenia energii i w zauważalnej wielkości występuje dopiero przy wysokich temperaturach substancji.

4.3.1. Konwekcja

Konwekcja wynika z ruchu płynu niezależnie od rodzaju sił, które go wywołują. Konwekcja może występować w przestrzeni zamkniętej lub przestrzeni nieograniczonej (opływanie zewnętrznych powierzchni). Konwekcja swobodna wynika z działania zewnętrznych sił masowych (siły ciężkości, siły odśrodkowe, siły pola elektromagnetycznego) na części płynu o różnych temperaturach, a za tym różnych gęstościach. Konwekcja wymuszona powstaje gdy ruch płynu jest wytworzony przez czynnik zewnętrzny (wentylator, pompę, sprężarkę). W ruchu rozchodzi się substancja układu, a wraz z nią unoszony jest w niej zawarty ładunek parametru ekstensywnego substancji lub energii.

$$\Gamma_{kon} = \iint_A v_n \Gamma_v dA$$

4.3.2. Transport molekularny

Transport molekularny wynika z ruchów molekularnych. W zależności od rodzaju czynnika może występować bezwładny ruch cząsteczek w gazach (dyfuzja), ruch drgający w cieczech lub w kryształach. Małe wymiary molekuł sprawiają, że zdolność transportu molekularnego jest własnością substancji ciągłą w objętości. Przenoszenie molekularne może obejmować, w zależności od stanu skupienia ośrodka, zarówno składnik, energię oraz pęd. Strumień przepływającej wielkości można zapisać równaniem:

$$\Gamma_{mol} = \iint_A -\frac{\partial \pi}{\partial n} \frac{1}{\rho_m} dA$$

w którym odwrotność oporu ciągłego określa współczynnik transportu molekularnego ρ_m .

Przenoszenie molekularne zachodzi w każdej substancji niezależnie od jej stanu skupienia.

W gazach współczynnik dyfuzji zależy od rodzaju składników, maleje wraz ze wzrostem ciśnienia i rośnie ze wzrostem temperatury.

4.3.3. Transport turbulentny (burzliwy).

Transport turbulentny występuje przy burzliwym przepływie substancji w obecności niejednorodnego pola parametru intensywnego. Ruch burzliwy charakteryzuje się przemieszczaniem niewielkich wirów płynu rzędu kilku części milimetra. Elementy te są małe

w porównaniu z charakterystycznym wymiarem liniowym, np. średnicą kanału. Ale dużo większe od wielkości molekuł. Charakter przepływu wirów jest podobny do przepływu molekuł i jest chaotyczny. Istnieje zatem pewna analogia pomiędzy przepływem molekularnym i turbulentnym. Przesuwający się wir przenosi z sobą zawarte w nim pęd, energię i składniki. Opisuje to zależność

$$\Gamma_{turb} = - \iint_A \frac{1}{\rho_t} \frac{\partial \pi}{\partial n} dA$$

gdzie $1/\rho_t$ jest współczynnikiem transportu burzliwego.

Strumienie transportu molekularnego i turbulentnego dodają się ponieważ mają ten sam kierunek i zwrot:

$$\Gamma_{turb} + \Gamma_{mol} = \iint_A - \left(\frac{1}{\rho_t} + \frac{1}{\rho_m} \right) \frac{\partial \pi}{\partial n} dA$$

Współczynniki transportu molekularnego i turbulentnego tworzą sumę. Jednak istnieje między nimi różnica. Współczynniki przenoszenia molekularnego są parametrami charakterystycznymi dla danej substancji (podawane w tablicach fizycznych). Współczynniki te są raczej niezmiennie w całym obszarze układu (można je uznawać za stałe liczbowe). Współczynniki przenoszenia turbulentnego zależne są od struktury hydrodynamicznej układu. Mogą one silnie zmieniać się w objętości układu szczególnie w pobliżu powierzchni materiałowych (również w pobliżu granicy rozdziału układów). Prędkość przy przepływie turbulentnym składa się z prędkości średniej i prędkości pulsacyjnej (oscylacyjnej).

Jednakowa w całej objętości burzliwość płynu nosi nazwę homogenicznej. Burzliwość charakteryzowaną pulsacją o jednakowych składowych nazywamy izotropową.

4.3.4. Transport energii przez promieniowanie.

Transport przez promieniowanie obejmuje rozchodzenie się energii poprzez fale elektromagnetyczne w zakresie podczerwieni o długościach od 10^{-6} do 10^{-5} mm lub jako ruch fotonów. Za pomocą promieniowania przenoszona jest tylko energia i to najlepiej w próżni. Oprócz próżni przepuszczalne dla promieniowania są gazy jedno- i dwuatomowe. Gazy wieloatomowe mogą wyłapywać poszczególne fotony i w ten sposób pochłaniać część przechodzącej przez nie energii. Fazy ciekła i stała są dla promieniowania (z wyjątkami) praktycznie nieprzepuszczalne. W fazach tych fotony po przejściu przez pierwsze przypowierzchniowe warstwy ośrodka zamieniają się na energię cieplną.

Pochłanianiu przez powierzchnię energii towarzyszy również emisja energii. Bez jej występowania temperatura powierzchni rosłaby nieustannie. Zazwyczaj po pewnym czasie ustala się quasi- równowaga termodynamiczna.

Pochłanianie i emitowanie energii przez powierzchnie opisują prawa: Plancka, Stefana - Boltzmana, Wiena, Lamberta, Kirchhoffa.

4.3.5. Rozchodzenie się w układach wielofazowych

Układ wielofazowy składa się z elementów jednofazowych i mechanizmy rozchodzenia się w nim zachodzą analogicznie jak w układzie jednofazowym. Komplikację stwarza jedynie różna intensywność rozchodzenia się w poszczególnych fazach i zmiana skokowa na granicy faz.

Odrębne problemy zachodzą w przypadku powstawania nowej fazy w postaci tzw. zarodki. (np kropel mgły przy kondensacji w krople).

4.3.6. Komplikacje w mechanizmach rozchodzenia się układzie wielofazowym na tle układu jednofazowego.

Transport konwekcyjny w układzie wielofazowym jest bardziej skomplikowany bo ruch ma bardziej złożoną strukturę. O ile w układzie jednofazowym ruch określa jedno pole prędkości to w układzie wielofazowym jest cały zbiór pól prędkości.

Transport molekularny również ulega znacznej komplikacji. W układzie jednofazowym współczynniki transportu molekularnego (D, λ, μ) zmieniają się nieznacznie w sposób ciągły wraz ze zmianą temperatury i koncentracji. W układzie wielofazowym współczynniki transportu zmieniają się skokowo na granicy faz.

W transporcie burzliwym niejednorodność ośrodka powoduje duże komplikacje. Zarówno obecność powierzchni międzyfazowej oraz jej pulsacje jak i skokowe zmiany gęstości znacznie wpływają na transport burzliwy.

Opisy rozchodzenia się energii w układach wielofazowych przeprowadzane są przede wszystkim z uwagi na kształt powierzchni międzyfazowej, mogącej zmieniać się w czasie i w przestrzeni. Gdy powierzchnia ta jest ustalona, można opisy przeprowadzić dla każdej z faz oddzielnie, a następnie poprzez odpowiednie procedury dokonać zszycia ich na granicy faz.

5. Rozwój teorii modelowania matematycznego wymienników.

Wypełnienia stosowane w wymiennikach charakteryzują się najczęściej skomplikowanym kształtem powierzchni (co poprawia skuteczność wymiennika) oraz nieciągłością. Jest to powodem braku możliwości ścisłego ujęcia teoretycznego opisu wymiany ciepła i masy pomiędzy złożem i płynem. Nie mogą być dla takich przypadków bezpośrednio wykorzystane równania transportu [29], zakładające ciągłość i jednorodność ośrodków. Dodatkową trudność opisu powoduje zachodząca dyspersja przepływającego płynu pomiędzy elementami wypełnienia o skomplikowanych kształtach lub nieregularnie rozmieszczonych. Wiąże się to z różnymi długościami drogi przebywanymi przez różne cząsteczki płynu i co za tym idzie, różnymi długościami czasu przebywania tych cząstek wewnątrz złoża. Następuje wtedy dodatkowa wymiana ciepła pomiędzy cząstkami płynu.

Pierwsze modele opisujące działanie wymienników ciepła z wypełnieniami powstały w latach dwudziestych naszego stulecia. Były to prace Anzeliusa [2], Hausena [30], Nusselta [37], Schumanna [47], Rummela i Schacka [45] oraz Ackermanna [1] i inne.

Jeden z najprostszych, model Schumanna, zakłada idealny przepływ tłokowy płynu. Nie uwzględnia jednak przewodzenia ciepła w płynie i pomiędzy elementami wypełnienia, a także wewnątrz elementów wypełnienia. Nie uwzględnia również akumulacji ciepła w płynie. Rozwiązany został przy założeniu stałej temperatury płynu na wlocie do wymiennika i wyrównanej początkowej temperaturze złoża. Równania różniczkowe wymiany ciepła w tym modelu mają postać:

$$\rho_f c_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = -\rho_f c_f w \frac{\partial T_f}{\partial x} - \frac{\sigma}{\varepsilon} \beta (T_f - T_s)$$
$$(1 - \varepsilon) \rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = -\sigma \beta (T_s - T_f)$$

Inny model, opracowany przez Nusselta, uwzględniał niewyrównaną początkową temperaturę złoża. Nusselt posłużył się nim do opisu pracy wymiennika regeneracyjnego. Jednak ograniczeniem do zastosowania praktycznego wyników było skomplikowanie równań analitycznych.

Duży wpływ na postęp modelowania wymiany ciepła w wymiennikach z wypełnieniem miało zastosowanie techniki komputerowej.

Jednym ze sposobów jest przeprowadzenie analizy procesów zachodzących w pojedynczej komórce obejmującej zdyspergowany element i jego otoczenie aż do styku z komórką sąsiednią, a następnie sumowanie tego opisu na całą objętość układu. Przy sumowaniu występują trudności, bo poszczególne elementy mają nie tylko różne rozmiary ale i kształty. Mogą też być rozmieszczone z różną regularnością. Występują również trudności z określeniem warunków brzegowych dla każdego z elementów płynu.

Inny sposób polega na traktowaniu układu wypełnienia jako jednego kontinuum[33]. Na tym założeniu bazuje model zwany Continuous- Solid Phase Model w skrócie C-S. Zakłada on że faza stała złoża jest ciągła. Uwzględnia również zjawiska dyfuzji w obrębie obu faz:

$$\rho_f c_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = \lambda_r \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_f}{\partial r} \right) + \lambda_{ax} \frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2} - \rho_f c_f w \frac{\partial T_f}{\partial x} - \frac{\sigma}{\varepsilon} \beta (T_f - T_s)$$

$$(1 - \varepsilon) \rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \lambda_o^e \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_s}{\partial r} \right) + \lambda_o^e \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} - \sigma \beta (T_s - T_f)$$

Littman i Silva [33] wykazali, że procesy dyspersyjne są w fazie gazowej pomijalnie małe. Dlatego w wypadku przepływu gazu przez złożę współczynniki $\lambda_r = \lambda_{ax} = 0$.

Wszystkie występujące mechanizmy znajdują tu tylko odbicie w odpowiedniej wartości zastępczych współczynników transportu.

Modelem uwzględniającym promieniową symetrię temperatury w ziarnie wypełnienia jest model oznaczany w literaturze Dispersion - Concentric Model (D-C) [52]. Jego postać różniczkowa ma następujące równania:

$$\frac{\partial T_f}{\partial t} = \alpha_r \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_f}{\partial r} \right) + \alpha_{ax} \frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2} - w \frac{\partial T_f}{\partial x} - \frac{\sigma}{\varepsilon \rho_f c_f} \beta (T_f - T_s(R))$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \alpha_{ms} \frac{1}{r_i^2} \frac{\partial}{\partial r_i} \left(r_i^2 \frac{\partial T_s}{\partial r_i} \right) + \lambda_{ms} \frac{\partial T_s}{\partial x} - \beta (T_f - T_s)$$

W ślad za Vortmeyerem i Schaeferem Gryglewicz [29] wykazał stosowalność modelu pseudohomogenicznego (jednofazowego). W modelu tym dwie fazy obu układów zastąpiono jedną pseudofazą. Wartości parametrów pseudofazy są wypadkową parametrów opisujących wypełnienie i płyn. Ich wartości muszą być indywidualnie dopasowywane do rodzaju stosowanego wypełnienia i przechodzącego przez wymiennik płynu. Dodatkowo zakłada się

ciągłość fazy stałej złoża oraz przepływ powietrza o charakterze tłokowym. Różniczkowa postać równania ogólnego tego modelu ma postać:

$$\left[\varepsilon \rho_f c_f + (1 - \varepsilon) \rho_s c_s \right] \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_r^e \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \lambda_{ax}^e \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \varepsilon \rho_f c_f w \frac{\partial T}{\partial x}$$

Modelem rozwijającym i poprawiającym otrzymywane wyniki w modelu jednofazowym, był opracowany przez Kowalczyka model dwufazowy [32]. Uwzględniał on dodatkowo porowatość elementów wypełnienia. Bardziej szczegółowo rozpatrzono również wymianę masy zachodzącą wewnątrz złoża wymiennika i z otaczającym gruntem. W modelu tym sformułowano osobne równania opisujące transport energii i masy wilgoci w złożu powietrza i gruncie. Przykładowo równanie transportu energii w wypełnieniu opisano:

$$(1 - \varepsilon) \rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \alpha \sigma (T_p - T_s) + r \beta \sigma [X - \bar{X}(T_s) \varphi(W)]$$

natomiast transport wilgoci opisuje następujące równanie:

$$(1 - \varepsilon) \rho_s \frac{\partial W}{\partial t} = \beta \sigma [X - \bar{X}(T_s) \varphi(W)]$$

W wyniku przyjęcia innych założeń dotyczących wymiany wilgoci uzyskano różnice pomiędzy wartościami temperatur powietrza opuszczającego wymiennik wyliczonymi i zmierzonymi nie większe niż 3,1 K w porównaniu z poprzednimi dochodzącymi do 6 K.

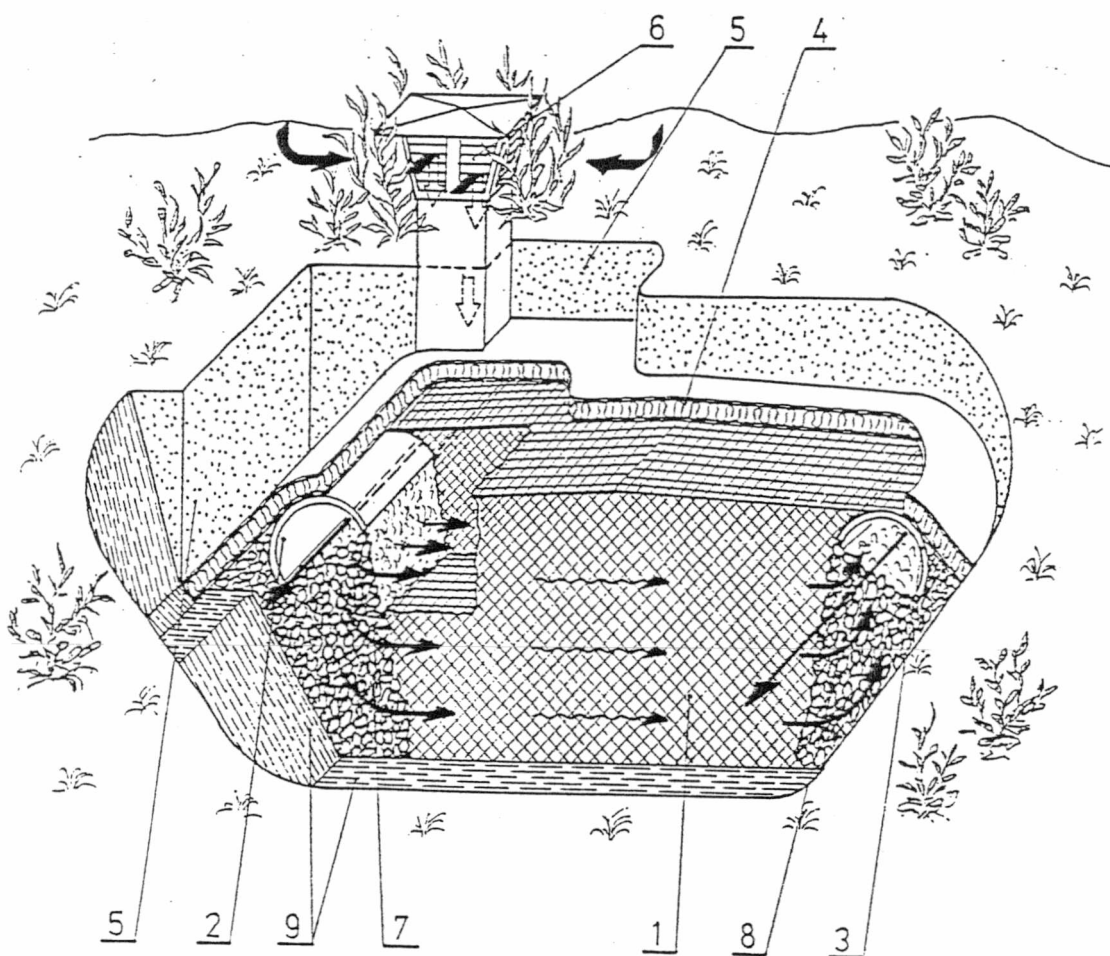
5.1. Podsumowanie.

Większość spotykanych w literaturze modeli opisujących zjawiska zachodzące w wymiennikach w wypełnieniach kamiennymi, opiera się na podobnych założeniach. Wypełnienie najczęściej jest traktowane jako ośrodek jednorodny i ciągły. Czasami uwzględnia się jego porowatość. Modele najczęściej są dwu, czasami trójwymiarowe. Oznacza to, iż zmiennymi niezależnymi są jedna lub dwie współrzędne i czas. W związku z tym zakłada się zmienność temperatury płynu i wypełnienia jedynie wzdłuż kierunku przepływu płynu i czasu. Zakłada się wymianę ciepła pomiędzy wypełnieniem i płynem jedynie na drodze konwekcji. Wpływ promieniowania pomija się. Parametry termofizyczne płynu i wypełnienia, jak również ich liczby i współczynniki określające proces wymiany ciepła, są z założenia takie same w całej objętości złoża i czasie. Charakter ruchu płynu przez złożo zakłada się tłokowy, bez możliwości zawracania przez cząsteczki płynu. W założeniach pojawia się również stałość ciśnienia (proces izobaryczny). Większość modeli zakłada również brak strat energii i wymiany

od wielkości liczb Reynoldsa. Cechą charakterystyczną, łączącą najczęściej spotykane modele, jest fakt, iż opisują one zmiany temperatury w czasie osobno dla obu faz uczestniczących w procesie wymiany ciepła. Najczęściej rozwiązanie tych modeli możliwe jest jedynie przy wykorzystaniu metod numerycznych.

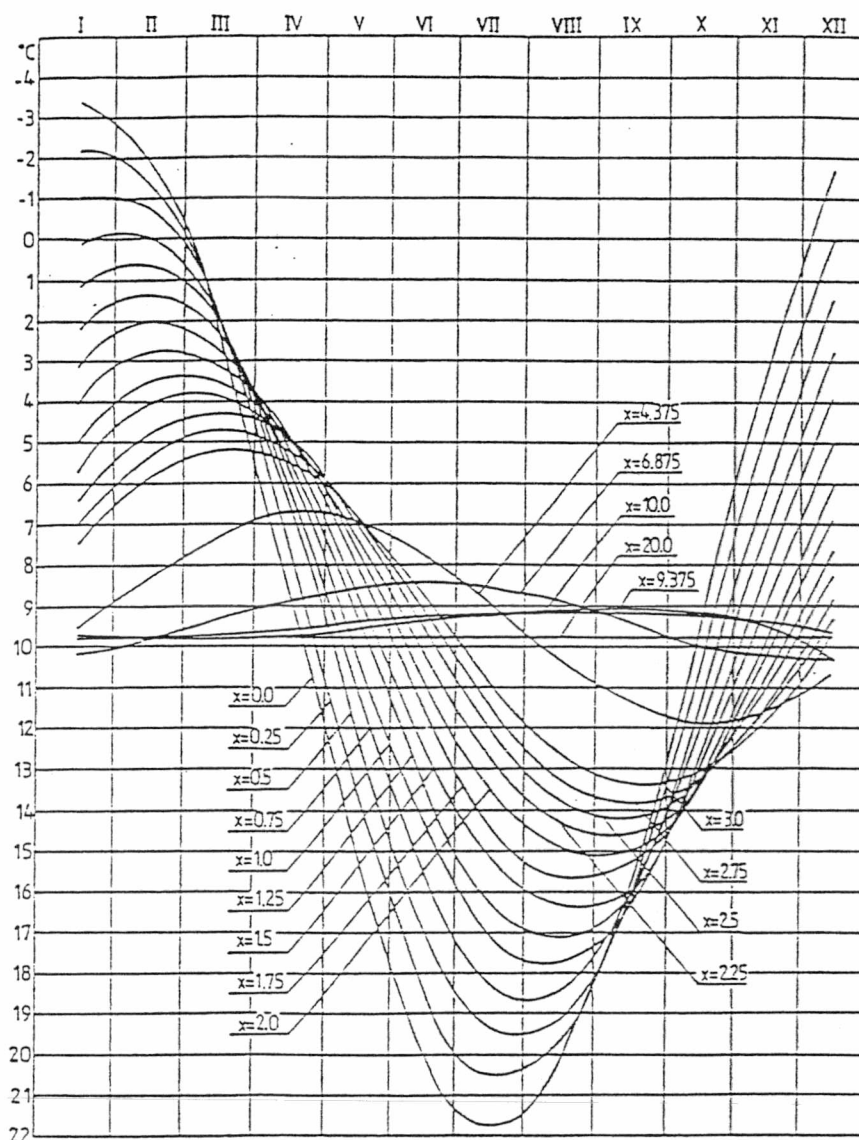
6. Budowa i działanie wymienników gruntowych.

Bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy (w skrócie BGWCiM, rys. 8) jest urządzeniem współpracującym z instalacją wentylacyjną. Jego rolą jest wstępna obróbka powietrza polegająca na podgrzaniu powietrza wentylacyjnego zimą i ochładzaniu latem. Takie jego działanie jest możliwe bo, przez cały rok temperatura gruntu na głębokości $4 \div 5$ m jest prawie stała i zbliżona do średniej rocznej temperatury powietrza zewnętrznego. W naszym środkowoeuropejskim klimacie wynosi ona $+10 (\pm 1,5)^\circ\text{C}$.



Rys. 8. Idea BGWCiM, 1- złoże akumulacyjne, 2- kanał rozprowadzający, 3- kanał zbierający, 4- izolacja ciepłno- wilgotnościowa, 5- przykrycie wymiennika, 6- czerpnia powietrza, 7- złoże rozprowadzające, 8- złoże zbierające, 9- grunt rodzimy.

Zmienne w czasie pole temperatur gruntu kształtowane jest przez dwa strumienie ciepła: promieniowanie słoneczne i ciepło z wnętrza ziemi. Natężenie docierające od promieniowania słonecznego jest zmienne w czasie w cyklach dobowych, wykazujących dość znaczne zmiany, a także w cyklach rocznych, nakładających się na siebie. Różnice w natężeniu bywają czasem znaczne w kolejnych latach: np. rok 1994 i 1995 miały lata upalne, a w 1996



Rys. 9. Wykres przebiegu temperatur gruntu na różnych głębokościach w poszczególnych miesiącach roku.

roku lato było o umiarkowanej temperaturze. Ciepło pochodzące z wnętrza ziemi (tzw. geotermalne) można w zasadzie uznać za stałe na przestrzeni całego roku.

Intensywność promieniowania słonecznego decyduje, o temperaturze powierzchni ziemi i cienkiej warstwy tuż pod nią. Ciepło pochodzenia geotermalnego decyduje o temperaturze w głębi gruntu. Średni efekt energetyczny promieniowania słonecznego jest ok. 2000 razy większy niż ciepła geotermalnego. Średnia roczna wartość mocy strumienia promieniowania słonecznego na terenie Polski wynosi od 110 do 130 W/m^2 [20]. Znaczna jej część odbija się od powierzchni ziemi i przekazywana jest do pary wodnej i dwutlenku węgla zawartych w powietrzu atmosferycznym lub wodzie podciąganej kapilarnie z głębi gruntu.

daną powierzchnię nazywa się albedo. Albedo wyraża stosunek ilości promieniowania odbitego do padającego. Dla ziemi wynosi ono średnio 30 % (gleba, trawa, asfalt, beton).

Zmiany temperatury gruntu w czasie na głębokości x od poziomu terenu przy uwzględnieniu harmonicznego zmiany słonecznej temperatury powietrza $T_{2s}(\tau)$ i wpływu strumienia geotermicznego opisuje zależność [46]:

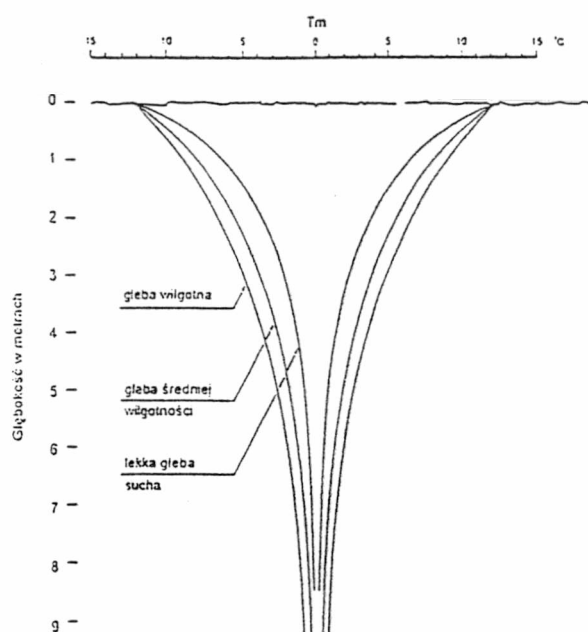
$$t_g(x, \tau) = t_{z_{\text{śr}}} + \Psi A \left\{ \exp \left[-x \left(\frac{\omega}{2a} \right)^{0,5} \right] \right\} \cos \left[\omega \tau - 1,08 \pi \left(\frac{\omega}{2a} \right)^{0,5} - \delta \right] + \delta_g x$$

$$\Psi = \left\{ 1 + 2 \left[\frac{\pi}{(B_i^2 F_o)} \right]^{0,5} + \frac{2\pi}{(B_i^2 F_o)} \right\}^{-0,5}$$

$$\delta = \arctg \left\{ 1 + \left[\frac{(B_i^2 F_o)}{\pi} \right]^{0,5} \right\}^{-1}$$

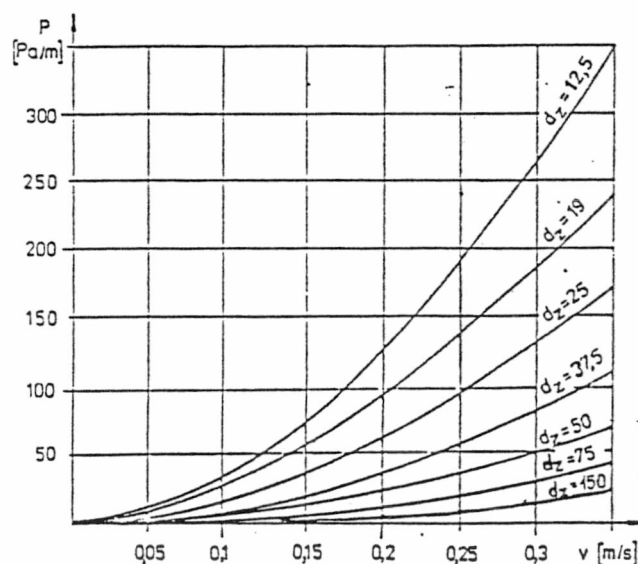
W oparciu o powyższą zależność sporządzony został wykres (rys. 9), który w ogólnych zarysach zgodny jest z wynikami prowadzonych badań na dużych głębokościach gruntu (np. rys. 10).

Jak można zauważyć na rysunkach 8 i 12, w bezprzeponowym gruntowym wymienniku ciepła



Rys. 10. Wykres odchylen temperatury gruntu od temperatury średniorocznej [44].

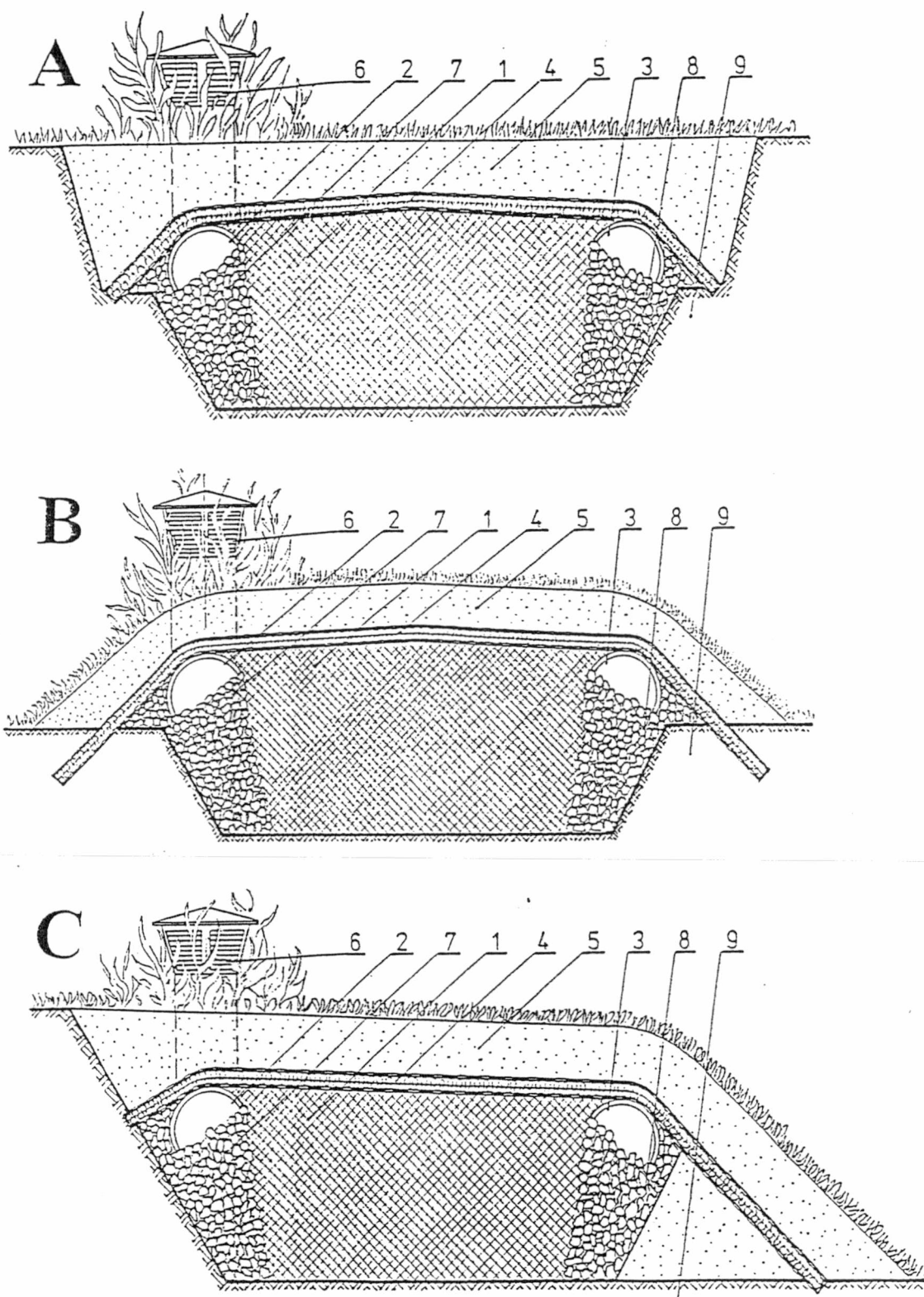
i masy powietrze zewnętrzne jest prowadzone poziomo poprzez złożę akumulacyjne o



Rys. 11. Straty ciśnienia w złożu z łomu granitowego w zależności od prędkości napływu powietrza dla różnych granulacji złoża.

długości $3 \div 4$ m. W wyniku kontaktu przepływającego powietrza pomiędzy wypełnieniem złoża następuje zbliżenie jego temperatury do temperatury wypełnienia, a czasami następuje nawet ich zrównanie. Na podstawie danych doświadczalnych można stwierdzić, iż w okresach szczytowych możliwe jest podgrzanie powietrza zewnętrznego zimą od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $\pm 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ i w lecie ochłodzenie go od $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, co jest widoczne np na rys. 13 i 14. W związku z tym, że wymiennik jest bezprzeponowy, następuje również korzystne nawilżanie powietrza zimą oraz osuszanie latem. Ponad złożami rozdzielającym, zbierającym i akumulacyjnym ułożona jest warstwa izolacji termicznej o oporze cieplnym odpowiadającym wartości oporowi warstwy wilgotnego gruntu o grubości 5 m. Jest to tylko ok. 10 cm dobrego jakościowo styropianu. Styropian ułożony jest w dwóch warstwach w folii z tworzywa sztucznego. Warstwa styropianu otacza złożę od góry i częściowo również z boków.

Taka konstrukcja wymiennika sprawia iż straty ciepła do otoczenia, do powietrza zewnętrznego są niewielkie. Równocześnie złożę zabezpieczone jest przed zanieczyszczeniem od wód opadowych. Przede wszystkim jednakże następuje korzystne wyniesienie izoterm z dużej głębokości tuż pod powierzchnię płata izolacji termicznej. Stwarza to możliwość sytuowania wymienników na niewielkiej głębokości pod powierzchnią gruntu i zmniejszenia nakładów związanych z drogimi przecież pracami ziemnymi. Przeszkodą w sytuowaniu spodu wymiennika na niezbędnej głębokości, dochodzącej do $4 \div 5$ m, mógłby być wysoki poziom wód gruntowych. Stosowana izolacja cieplna umożliwia wyniesienie wymiennika nawet ponad otaczający teren (patrz rys. 12), jeśli warunki nie pozwalają na bardziej korzystne jego umiejscowienie, przy czym efekty termiczne będą zbliżone do uzyskanych w wymiennikach głęboko posadowionych.



Rys. 12. Różne propozycje wykonania BGWCiM: A- BGWCiM zagłębiony całkowicie, B- BGWCiM zagłębiony częściowo (do połowy), C- BGWCiM wyniesiony ponad poziom terenu i usytuowany przy skarpie.
 1- złożo akumulacyjne (właściwe), 2- kanał rozprowadzający, 3- kanał zbierający, 4- izolacja ciepłno- wilgotnościowa, 5- przykrycie wymiennika, 6- czerpnia powietrza, 7- złożo rozprowadzające, 8- złożo zbierające, 9- grunt rodzimy.

Wymienniki BGWCiM charakteryzują się:

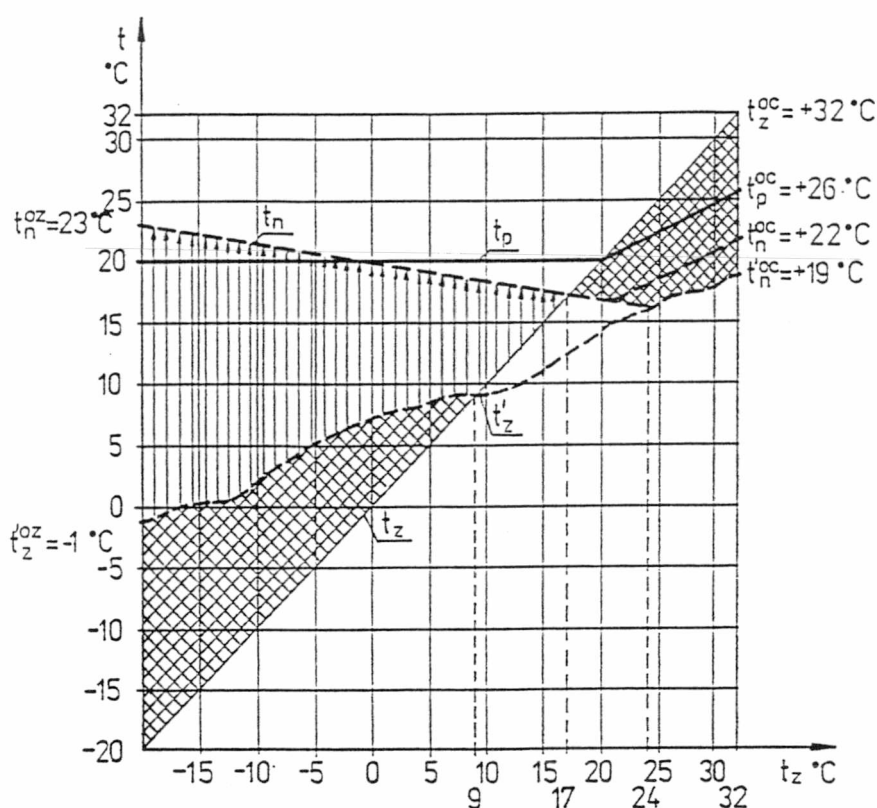
- Małymi oporami przepływu powietrza przez wymiennik, w wyniku stosowanego poziomego przepływu powietrza przez złożę zasadnicze.

- Przy zachowaniu zalecanej prędkości przepływu powietrza rzędu $0,1 \div 0,16$ m/s można utrzymać całkowite straty ciśnienia w granicach 200 Pa, co można sprawdzić na rys. 11 obrazującym zmierzone straty ciśnienia powietrza przepływającego przez złożę z łomu granitowego.

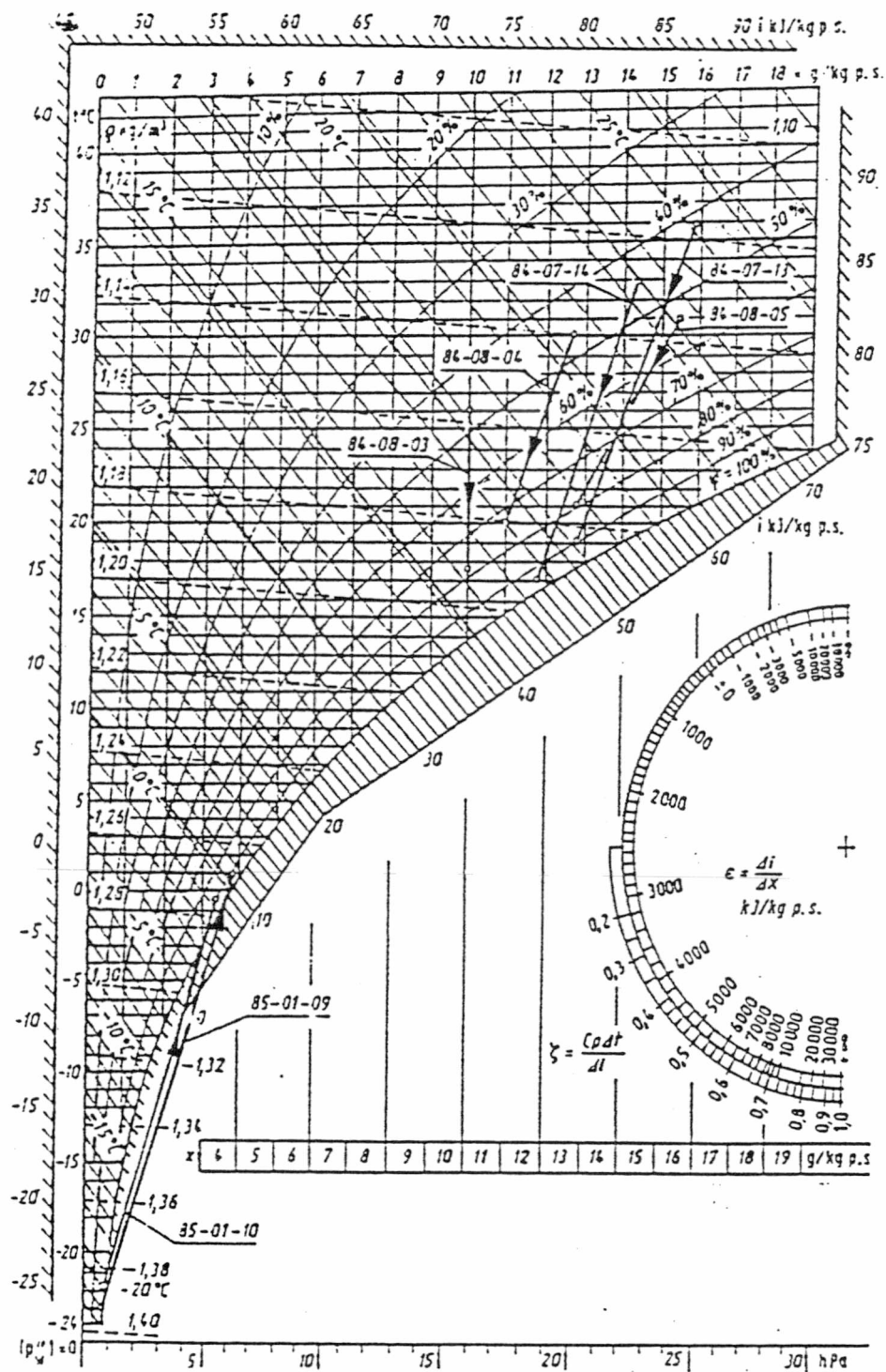
- W zależności od warunków geologicznych, zagospodarowania powierzchni terenu, poziomu wody gruntowej itp., można stosować rozmaite wykonania konstrukcji wymienników.

Na rys. 12 przedstawiono 3 różne przykłady wykonania wymienników. Założono iż, minimalne przykrycie wymiennika warstwą ziemi wynosi 50 cm, co umożliwia uprawę trawy, kwiatów, a nawet krzewów.

Kanały rozprowadzający i zbierający można wykonać z dowolnych lub typowych elementów betonowych, np. z łupin ciepłowniczych. Należy jedynie zadbać aby opory przepływu nie były zbyt wysokie.



Rys. 13. Wykres $t-t_z$ dla instalacji wentylacyjnej pracującej wyłącznie na powietrzu zewnętrznym wykorzystującej wymiennik gruntowy: t_p - temp. pomieszczenia, t_n - temp nawiewu, t'_z - temp. powietrza za BGWCiM, t_z - temp. powietrza zewnętrznego.



Rys. 14. Zmiany parametrów powietrza zewnętrznego po przejściu przez BGWCiM, zmierzone latem 1984 r. oraz zimą 1985 r. we Wrocławiu.

7. Wyniki pomiarów, opracowanie i analiza.

Celem uzyskania danych do utworzenia modelu określającego efektywność zastosowania wymienników gruntowych prowadzono w latach 1994 ÷ 1997 (do wiosny) pomiary ciągłe parametrów powietrza przepływającego przez zespół trzech wymienników gruntowych zlokalizowanych w pobliżu budynku C-6 Politechniki Wrocławskiej i rozmieszczonych jak na załączonym rysunku nr 15. Mierzono temperaturę i wilgotność względną powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego trzy wymienniki. Przekroje złożów badanych wymienników wynoszą odpowiednio:

- W1- 0,7 x 0,7 m,
- W2 - 1,0 x 1,0 m,
- W3 - 2,0 x 2,0 m.

Wszystkie trzy wymienniki miały jednakowe długości przepływu powietrza, po 5 m. Również prędkości przepływu powietrza były we wszystkich wymiennikach jednakowe ($v = 0,11$ m/s). Strumienie powietrza wynosiły odpowiednio: dla W1- 200 m³/h, dla W2- 400 m³/h i dla W3- 1500 m³/h. Pomiary wykonano przy użyciu stacji pomiarowej „METEO- STATION”, wyposażonej w czujniki temperatury i wilgotności względnej powietrza. Czujniki mierzące parametry powietrza zewnętrznego umieszczono w budce meteorologicznej. Czujniki mierzące parametry powietrza opuszczającego wymienniki rozmieszczono tuż za poszczególnymi złożami. Godziny pracy wymienników sterowano zegarem elektrycznym, wspólnym dla wszystkich trzech wymienników. Wymienniki pracowały w różnych cyklach pracy dobowej, począwszy od 9 godzin na dobę (w czasie krótkich okresów wiosną i zimą 1996 r.), po pracę ciągłą (od wiosny do jesieni upalnego roku 1995). Pomiarów temperatury powietrza w punktach pomiarowych dokonywano do połowy 1995 r. co 10 min., a w okresie późniejszym co 15 min. Zebrano ponad 200.000 wartości temperatur powietrza opuszczającego wymienniki.

Wyniki opracowano i sporządzono wykresy przedstawiające efekty termiczne pracy wymienników.

Porównano wyniki uzyskane w kolejnych miesiącach roku. Dla każdego z miesięcy roku wyznaczono przeciętne przebiegi temperatur powietrza wychodzącego z wymienników w poszczególnych godzinach (przebiegi dobowe). Sporządzono przykładowe wykresy

(rys. 16 ÷ 30) przedstawiające zmianę parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w ciągu godzin doby w poszczególnych miesiącach.

Wyznaczono również wartości temperatur powietrza opuszczającego wymienniki w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego (rys. 31 ÷ 35).

- Na załączonych wykresach można zaobserwować nie tylko zmienność parametrów powietrza zewnętrznego w poszczególnych miesiącach, ale widać również sezonowe zmiany pracy wymienników.
- Jesienią i pod koniec lata temperatury powietrza opuszczającego złoża są wyższe niż w miesiącach zimowych i wiosennych. Spowodowane to jest powolnym nagrzewaniem się złóż i akumulacją ciepła w wyniku eksploatacji w okresie letnim.
- Odwrotne zjawisko obserwuje się w miesiącach zimowych, kiedy mamy do czynienia ze stopniowym ochładzaniem złóż.

Wykresy oczekiwanych temperatur powietrza opuszczającego wymienniki w zależności od różnych parametrów powietrza zewnętrznego sporządzono początkowo uwzględniając wszystkie uzyskane w ciągu roku wyniki (rys. 31). Następnie, dla uzyskanych w ten sposób wyników, wyznaczono odchylenia standardowe. Okazało się, iż wartości odchylenia dla analizowanych danych (obejmujących całoroczne pomiary) sięgały wówczas 6 K dla temperatur powietrza zewnętrznego wyższych od +7 °C i niższych od +28 °C. Tak duże zróżnicowanie wyników spowodowane było nałożeniem się podobieństwa występowania temperatur zewnętrznych na wspomnianą wyżej sezonowość pracy złóż gruntowych. Dla uzyskania bardziej jednorodnych wyników zestawiono dane półroczami. Zdecydowano się na podział roku na połowę zimną (od grudnia do maja) i ciepłą (od czerwca do listopada), co poprawiło, jednakże nadal nie zmniejszyło w sposób znaczący wartości odchylenia standardowego.

W następnym kroku podzielono rok na kwartały, tzw. „kwartały klimatyczne” w sposób następujący:

- grudzień, styczeń, luty - kwartał I,
- marzec, kwiecień, maj - kwartał II,
- czerwiec, lipiec, sierpień - kwartał III,
- wrzesień, październik, listopad - kwartał IV.

Po takim podziale odchylenia standardowe analizowanych wyników pomiarów osiągnęły maksymalne wartości nie większe od 3 K w kwartale II i nie większe od 2 K dla

powodowane charakterystyczną wiosenną zmiennością warunków pogodowych. Nadmienić należy, iż podane wyżej wartości odchylenia standardowego uzyskano analizując jednocześnie wyniki uzyskane w bardzo różniących się pogodowo latach. Lata 1994 i 1995 były upalne i ze stosunkowo ciepłymi zimami. Natomiast rok 1996 charakteryzował się mroźną i długą zimą oraz niezbyt upalnym latem. Uzyskane wartości odchylenia wydają się wystarczająco dokładne dla potrzeb dalszej analizy efektywności pracy wymienników.

Sporządzone wykresy zależności temperatur powietrza opuszczającego wymienniki gruntowe od temperatur zewnętrznych powietrza dla poszczególnych kwartałów klimatycznych (rys. 32 - 35) są podstawą do prowadzonych analiz efektów eksploatacyjnych pracy wymienników gruntowych.

8. Analiza wyników badań.

Na podstawie uzyskanych i opracowywanych danych można wyróżnić specyficzne cechy wymienników gruntowych:

- Wymienniki gruntowe mają charakter wymienników akumulacyjnych.
- Najlepsze efekty energetyczne uzyskuje się w okresach występowania ekstremalnych warunków pogodowych, tzn. przy niskich temperaturach powietrza zewnętrznego zimą i wysokich temperaturach zewnętrznych latem.
- Różnice temperatur pomiędzy temperaturą powietrza wpływającego i wypływającego ze złoża dochodzą do 10 - 12 K latem i 20 K zimą. Na przykładowych wykresach pokazano uzyskane wyniki w czasie upalnego dnia letniego przy pracy ciągłej wymienników (rys. 37) i mroźnego dnia zimowego przy pracy nocnej (rys. 38).
- Okres eksploatacji wymiennika w ciągu doby w zakresie do 12 godzin ma nieznaczny wpływ na stan parametrów złoża i wydajność wymienników.
- Parametry powietrza opuszczającego złoża charakteryzują się bardzo powolnymi zmianami w czasie i są zauważalne dopiero przy analizie zestawień poszczególnych miesięcy (są to zmiany sezonowe). Praktycznie w okresie jednego miesiąca trudno je zauważyć.
- Niesie to z sobą bardzo korzystne konsekwencje, gdyż niwelowane są wszelkie skoki temperatury powietrza zewnętrznego występujące w ciągu doby, jak również w kolejnych, następujących po sobie dniach, gdy występują gwałtowne ochłodzenia i ocieplenia.
- W przypadku szybkich ociepleń występujących w okresie zimnym i przejściowym, a także szybkich ochłodzeń w okresie ciepłym, z uwagi na fakt iż wymienniki reagują z pewnym opóźnieniem może się zdarzyć, że w pewnych okresach dla celów wentylacji parametry

powietrza opuszczającego złoża są mniej korzystne niż parametry powietrza zewnętrznego. Poprawnie działająca automatyka powinna wówczas zapewnić pobór powietrza z korzystniejszego źródła.

- Natomiast bardzo korzystne parametry powietrza uzyskuje się w wymiennikach w przypadkach krótkookresowych znacznych obniżen temperatury powietrza zewnętrznego zimą (również w okresach przejściowych) a także podczas gwałtownych letnich wzrostów temperatury. Obciążeniu ulegają wszystkie uciążliwe szczyty.
- Zaobserwować można również pewną niezależność temperatur w złożu od długotrwałych temperatur powietrza zewnętrznego. Różnice temperatur złoża zmierzone w miesiącach upalnego lata w 1995 r. i dużo chłodniejszego lata 1996 r. były znacznie mniejsze niż wynikałoby to z przebiegu temperatur powietrza zewnętrznego w tych latach.

8.1. Wybór warunków klimatycznych dla ocen efektów ekonomicznych uzdatniania powietrza w wymiennikach gruntowych.

Analizując klimat należy wziąć pod uwagę dwa podstawowe w życiu człowieka przedziały czasu determinujące rytm aktywności ludzkiej. Są to mianowicie dzień i rok.

Można stwierdzić, iż temperatura powietrza zewnętrznego w ciągu roku jest wypadkową wahań rocznych, dobowych i tzw losowych, czyli nieregularnych odchyłek krótkotrwałych.

W okresach badań wieloletnich można opisać przebieg temperatur funkcją harmoniczną z dwiema składowymi: roczną i dobową. Chomicz [20] proponuje zależności opisujące zmiany temperatury w ciągu roku i doby w postaci:

$$t_z(\tau) = t_{z, sr} + \lambda \times \cos(\omega \tau + \varphi) + \lambda d \times \cos(\omega_d \tau + \varphi_d)$$

Znaczenie przebiegu pogody w ciągu roku jest istotne dla gospodarki. Ma wpływ m.in. na zapotrzebowanie energii dla celów ogrzewania i wentylacji. W naszym klimacie udział energii na cele grzewcze dochodzi czasem do 50 % całkowitego zapotrzebowania na energię.

Strefa klimatu umiarkowanego w jakiej znajduje się Polska charakteryzuje się przy obserwacjach w okresach wieloletnich jednym maksimum i jednym minimum temperatury zewnętrznej w ciągu roku. Występują one odpowiednio po letnim i zimowym przesileniu dnia z nocą. Dlatego najczęściej najcieplejszym miesiącem jest lipiec, a najzimniejszym styczeń.

Przy analizie ekonomicznej w celu wyznaczenia parametrów powietrza zewnętrznego nie można posłużyć się wartościami normatywnymi. Służą one bowiem za podstawę przy projektowaniu urządzeń, a te dobierane są na warunki ekstremalne. W związku z tym posługiwanie się nimi prowadziłooby do zawyżania uzyskiwanych wartości. Nie jest również słuszne przyjęcie za podstawę danych uzyskanych w ciągu jednego roku.

Dla uzyskania miarodajnych wyników analizy zapotrzebowania energii w przeciągu roku należy wyznaczyć parametry roku reprezentatywnego. Zestawienia te sporządza się na podstawie danych klimatycznych zbieranych przez stacje meteorologiczne przez wiele lat. Uzyskane dane po obróbce statystycznej pozwalają na wyznaczenie pogodowych prawidłowości występujących w danym regionie.

Wybór danych do stworzenia roku reprezentatywnego jest niezwykle trudny i zawsze obarczony błędem. Wynika on z ciągłej zmienności warunków klimatycznych w poszczególnych latach (np. lata 1994, 95 i 96). Z pomiarów prowadzonych przez Zakład Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego wynika, że w Polsce od roku 1990 obserwuje się gwałtowną zmianę występujących parametrów pogody. Jedną z cech charakterystycznych ostatnich lat jest, poza zmianami temperatur w poszczególnych okresach roku, np. bardzo mała ilość opadów śniegu.

Wymagania wobec roku reprezentatywnego są następujące:

- powinien mieć tę samą wartość średnią co dane uzyskane z pomiarów,
- zmienności parametrów powinny mieć ten sam stochastyczny charakter.

W wielu analizach spotkać można różne kryteria względem których sporządzano parametry roku reprezentatywnego. Analizowane okresy wynoszą co najmniej 10 lat.

8.1.1. Rok reprezentatywny ASHRAE.

Rok opracowany za pomocą tej metody nazwano „Test-Year”. Opracowuje się go na podstawie pomiarów meteorologicznych z okresu 10 lat. Obejmuje on pełny rok ze wszystkimi miesiącami. Procedurę rozpoczyna się od wyznaczenia wartości średniej dla każdego miesiąca. Następnie każdy rok dzieli się na dwie części: ciepłą, obejmującą miesiące od maja do października i zimną - od listopada do kwietnia. Miesiące ustawia się w kolejności od miesięcy najbardziej istotnych dla zapotrzebowania energii, biorąc na przemian miesiąc z części cieplej i zimnej. Kolejność jest następująca: lipiec, styczeń, sierpień, luty, czerwiec, grudzień, wrzesień, marzec, maj, listopad, październik, kwiecień. Sporządza się podwójną listę miesięcy najzimniejszych i najcieplejszych. Przy każdym z miesięcy zaznacza się rok w którym dany

miesiąc był najcieplejszy i rok w którym dany miesiąc był najzimniejszy. Po dokonaniu zestawienia jako rok reprezentatywny przyjmuje się rok, który nie wystąpił na obu listach ani razu lub uwzględniono tylko jeden z miesięcy. Jeśli wystąpią dwa takie lata, wyznacza się dwa miesiące najcieplejsze i postępuje w dół listy aż do pozostania jednego roku niewylosowanego. Jeśli nadal pozostanie więcej niż jeden rok, wówczas wyznacza się dwa miesiące najzimniejsze i postępuje od dołu listy. Procedurę powtarza się aż do uzyskania jednego roku niesklasyfikowanego.

8.1.2. Metoda TRY- Berlin.

W tej metodzie wyznacza się dane roku reprezentatywnego dla każdej godziny roku. Dane dotyczą konkretnego regionu. Do zestawienia wzięto pod uwagę dane z dziewięciu lat pomiarów. Dla każdego miesiąca z rozpatrywanego okresu określono wartości średnie miesięczne następujących elementów pogody:

- średnie miesięczne temperatur zewnętrznych,
- średnie miesięczne dobowych temperatur minimalnych
- średnie miesięczne dobowych temperatur maksymalnych
- średnie miesięczne wilgotności względnej powietrza
- średnie miesięczne ciśnienia powietrza
- średnie miesięczne wilgotności bezwzględnej
- średnie miesięczne temperatury punktu rosy
- średnie miesięczne wartości entalpii.

Miesiące do analizy wybrano kierując się możliwie najbliższą wartością średniej:

- rocznej po wykonaniu zestawienia ze średnią wyznaczoną z wszystkich analizowanych lat,
- dla okresu ciepłego zestawionego roku i okresu ciepłego zestawionych lat,
- dla okresu zimnego zestawionego roku i okresu zimnego zestawionych lat,
- miesięcznej poszczególnych miesięcy roku i średniej miesięcznej z lat analizowanych.

8.1.3. Metoda uproszczona.

W metodzie tej zaproponowano pozyskanie danych do roku reprezentatywnego poprzez losowanie całych poszczególnych dni miesiąca. Sposób losowania proponuje się wykonać następująco:

- dla rozpatrywanego poszczególnego miesiąca losowo (np. przy pomocy funkcji pseudolosowej) wyznaczenie ciągu liczb całkowitych d_i z zakresu od 1 - D (liczba dni w miesiącu),
- następnie wyznaczenie ciągu liczb całkowitych r_i z zakresu od 1 - R (liczba lat w zestawieniu),
- utworzenie par liczb (d_i , r_i) reprezentujących odpowiednio numer wylosowanego dnia i numer wylosowanego roku.

Problemem w powyższej metodzie jest uzyskanie ciągłości na granicy wybranych dni. Proponuje się go rozwiązać poprzez stosowanie liniowej interpolacji wartości parametrów w przedziale czasu pomiędzy godziną 23⁰⁰ i 3⁰⁰ doby następnej.

8.2. Wybór danych do badań efektywności.

Do przeprowadzenia analizy ekonomicznej wykorzystania ciepła z gruntu w bezprzeponowych wymiennikach gruntowych wykorzystano dane parametrów powietrza zewnętrznego pochodzące z dwóch źródeł.

Przy obliczeniach dla warunków niemieckich wykorzystano dane zawarte w normie DIN 4710 [22]. W normie tej zestawiono parametry powietrza zewnętrznego z 14 lat (1956 - 1970) w postaci średnich godzinowych dla poszczególnych miesięcy. Zamieszczone dane dotyczą pomiarów wykonywanych dla różnych regionów Niemiec (w 13 stacjach pomiarowych). Przy sporządzaniu poszczególnych zestawień autorzy normy odrzucili wartości ekstremalne.

W niniejszej analizie wykorzystano dane zmierzone przez stację meteorologiczną w Berlinie. Pod uwagę wzięto wartości dni średnich niezależnych od pogody (zachmurzenia). Do wyznaczenia zapotrzebowania energii chłodniczej posłużono się danymi dla dni słonecznych z uwzględnieniem ilości ich występowania w poszczególnych miesiącach.

Natomiast dla obliczeń w warunkach polskich wykorzystano dane uzyskane z Instytutu Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego z lat 1991 - 96 zmierzone we Wrocławiu, zestawione godzinowo dla każdego z miesięcy. Ze względu na obserwowaną w Polsce wyraźną zmianę pogody w latach 90-tych w porównaniu do lat wcześniejszych nie wzięto pod

uwagę danych z lat osiemdziesiątych. W związku z tym dysponowano jedynie okresem 6-cio letnim posiadanych do analizy danych. Zaobserwowano również duże zróżnicowanie pogody w latach 1993 - 1996 (rok 1994 i 1995 znacznie cieplejsze niż np. rok 1991 i 1996). Biorąc pod uwagę powyższe zdecydowano się sporządzić rok reprezentatywny poprzez uśrednienie wartości uzyskanych w poszczególnych latach. Również tu analizowano wartości temperatur powietrza w poszczególnych godzinach dla średnich dni w poszczególnych miesiącach roku.

8.3. Oznaczenia na wykresach zmian parametrów powietrza (rys. 16 do 38).

Przedstawiono wykresy obrazujące uzyskane wyniki w trakcie prowadzenia pomiarów ciągłych w latach 1994-1996 r. na trzech wymiennikach zlokalizowanych we Wrocławiu.

Na wykresach w (rys. 16 ÷ 30) przedstawiono wyniki dobowych przebiegów temperatur powietrza opuszczającego wymienniki i powietrza zewnętrznego dla wybranych miesięcy.

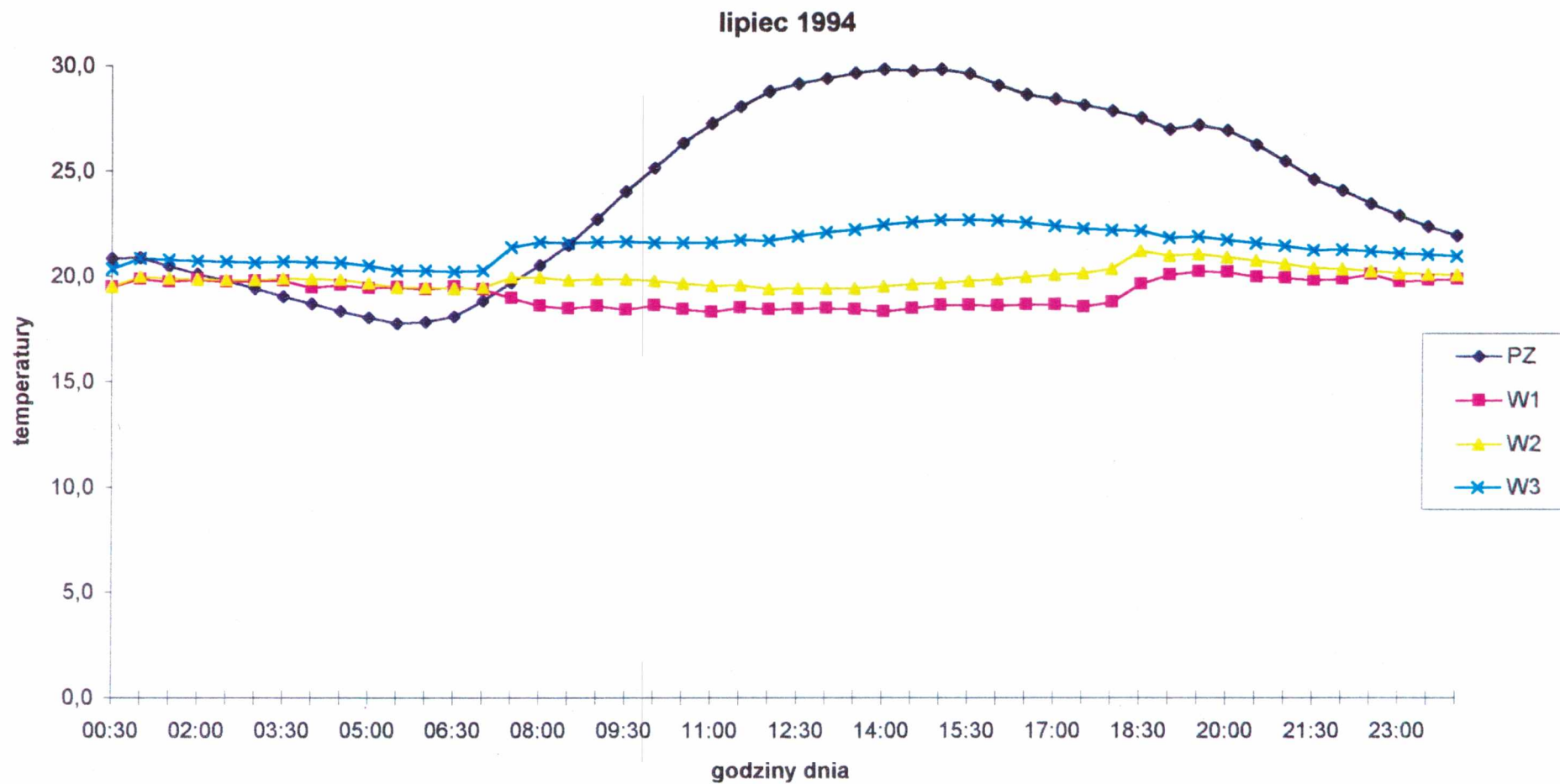
Na wykresie w rys. 31 pokazano wartości temperatur powietrza wypływającego z wymienników gruntowych w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego dla danych całorocznych.

Wykresy z rys. 32 ÷ 35 obrazują wartości temperatur powietrza wypływającego z wymienników gruntowych w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego dla danych z rozbiciem na kwartały klimatyczne.

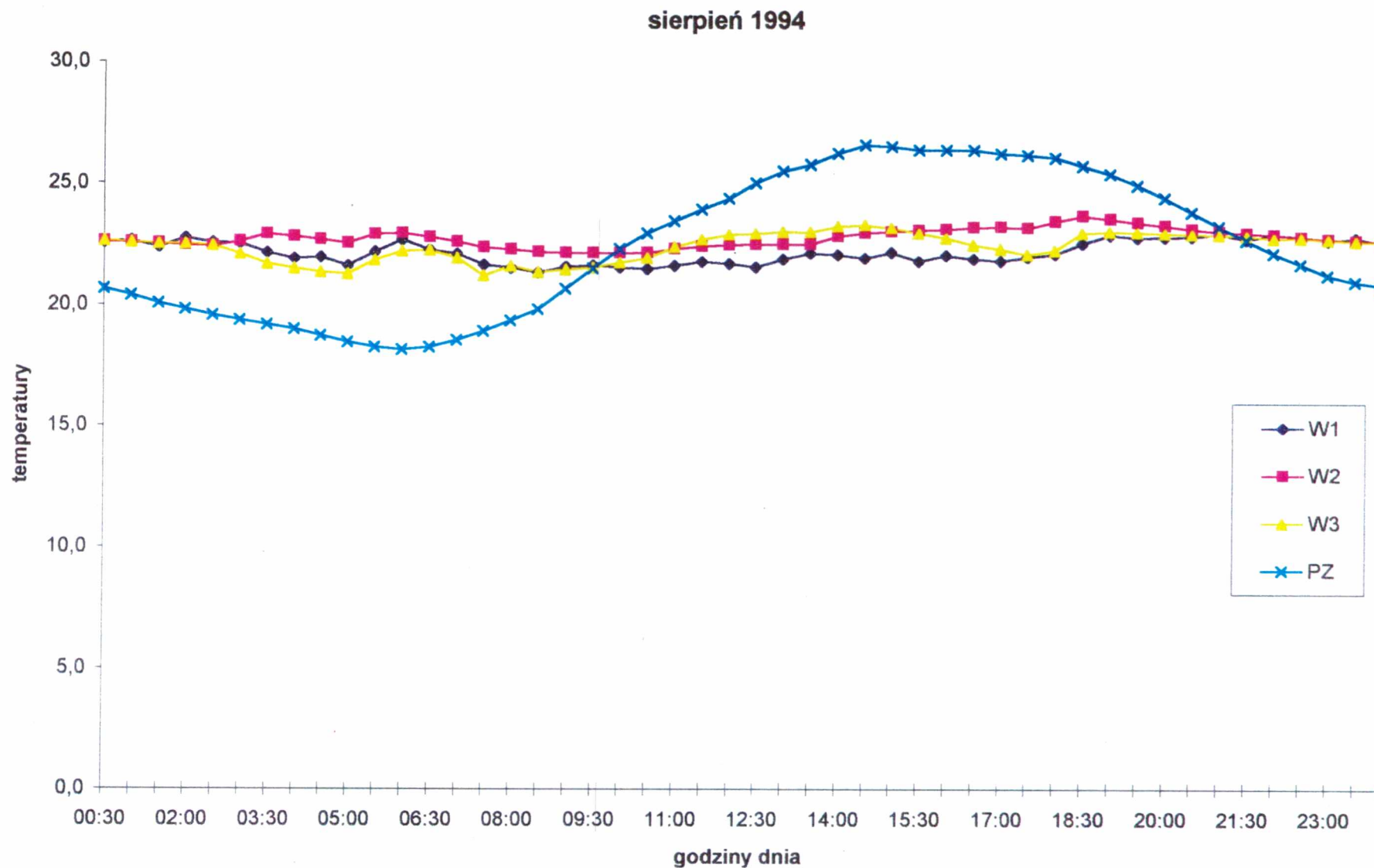
Wykres w rys. 36 przedstawia wartości odchyłeń standardowych dla zestawionych danych w rozbiciu na poszczególne kwartały klimatyczne.

Oznaczenia na rysunkach:

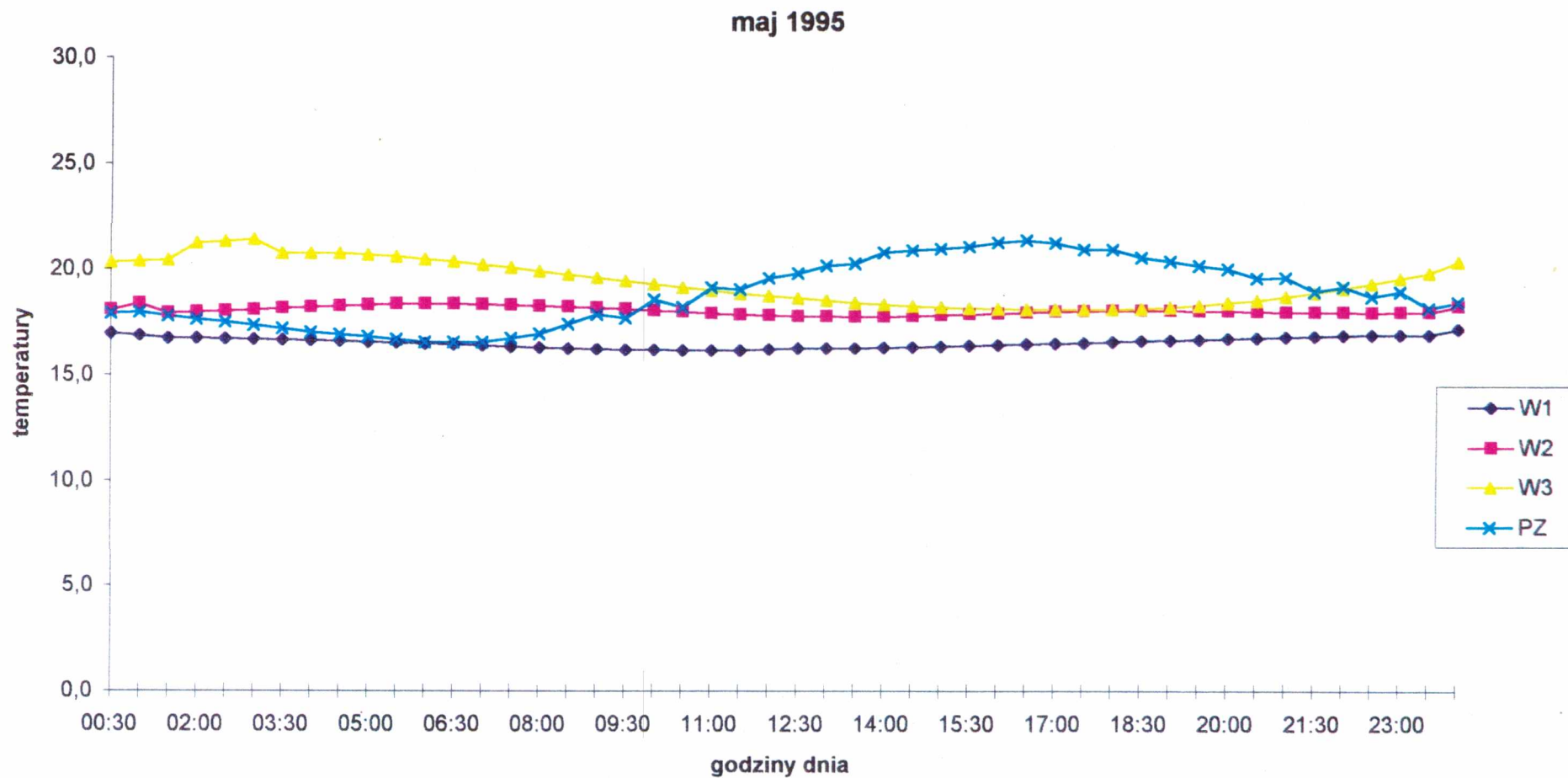
- W1- wymiennik nr 1 o przekroju złoża 0,7 x 0,7 m,
- W2 - wymiennik nr 2 o przekroju złoża 1,0 x 1,0 m,
- W3 - wymiennik nr 3 o przekroju złoża 2,0 x 2,0 m,
- PZ - powietrze zewnętrzne.



Rys. 16. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu lipcu 1994 r.

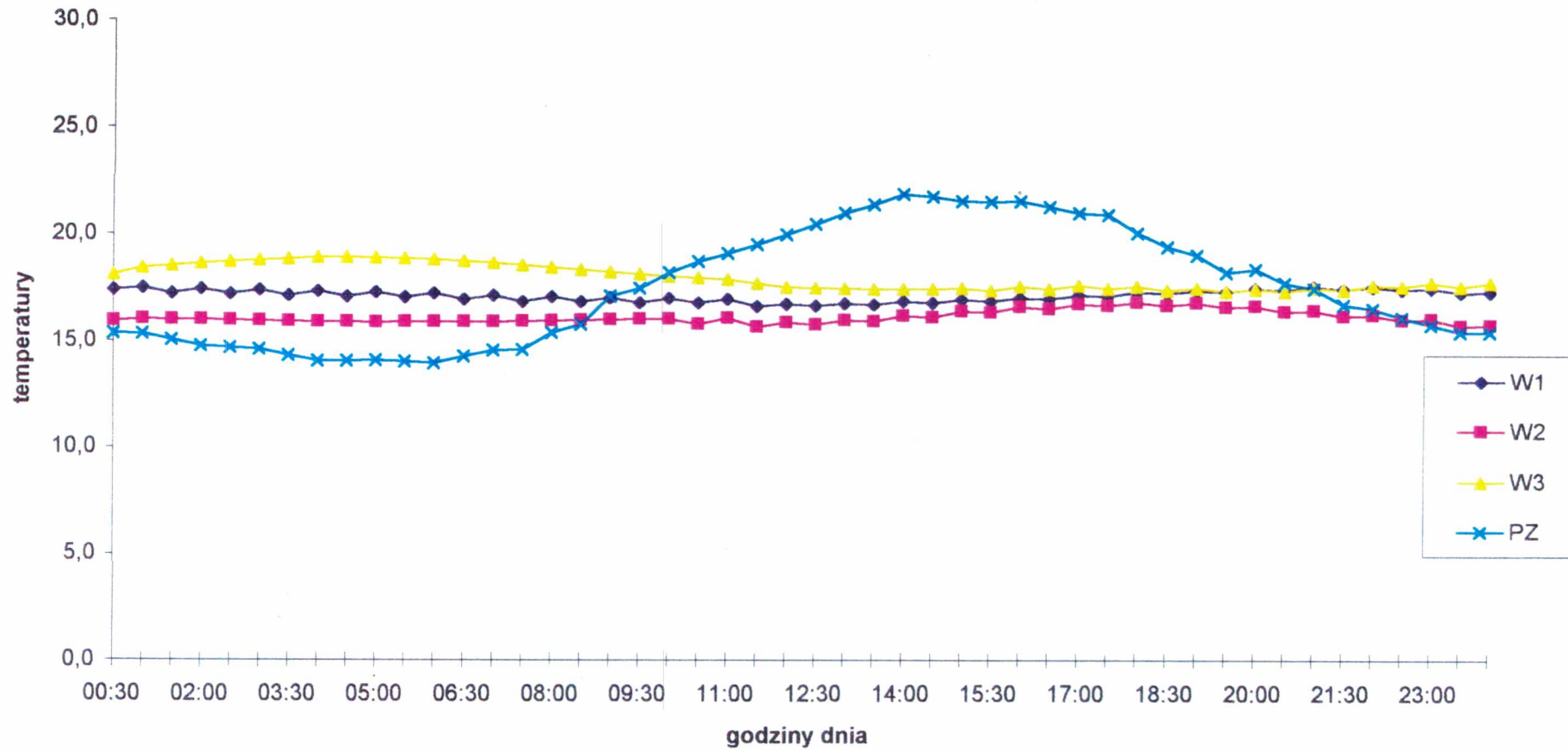


Rys. 17. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu sierpniu 1994 r.

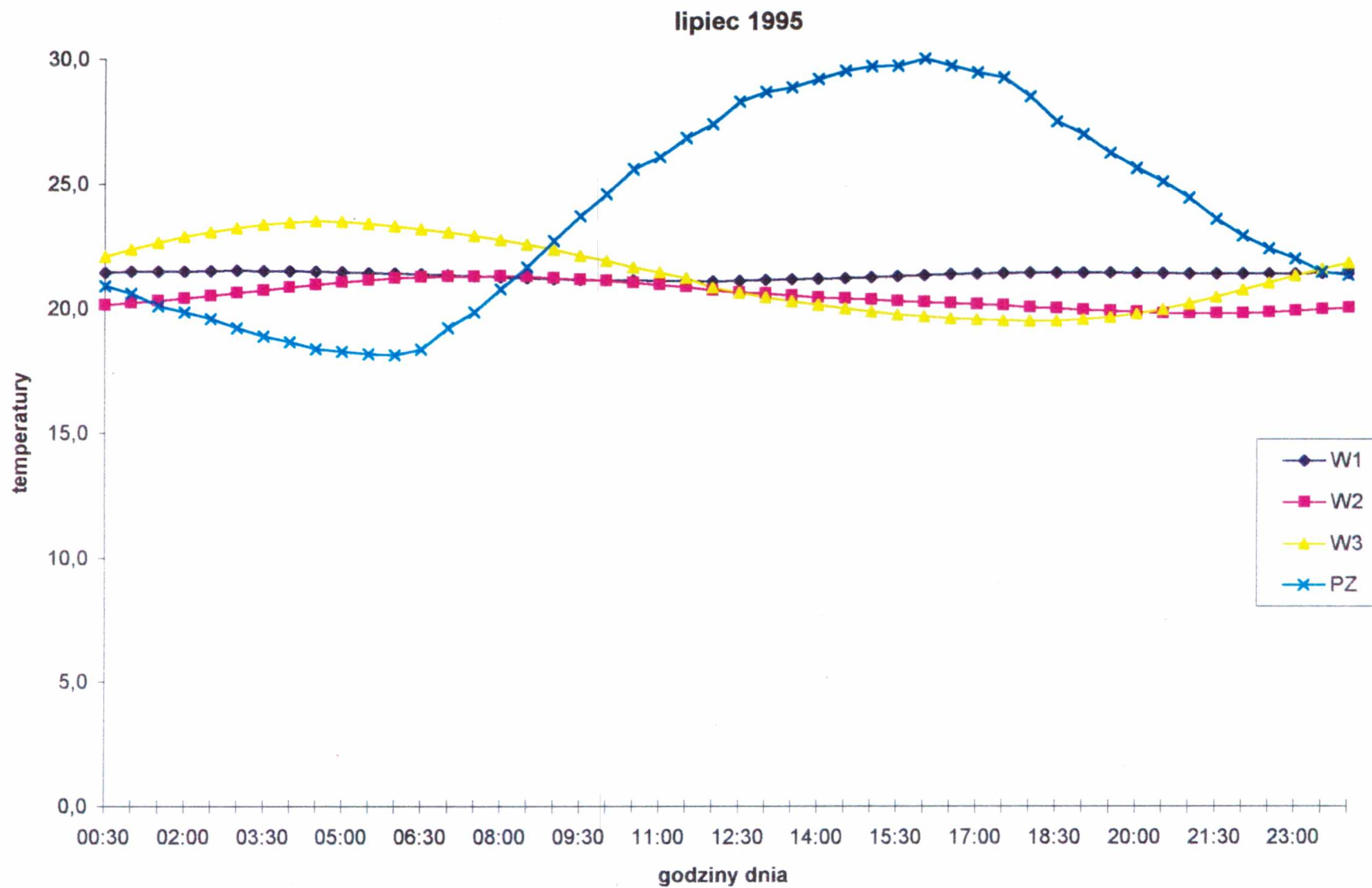


Rys. 18. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu maju 1995 r.

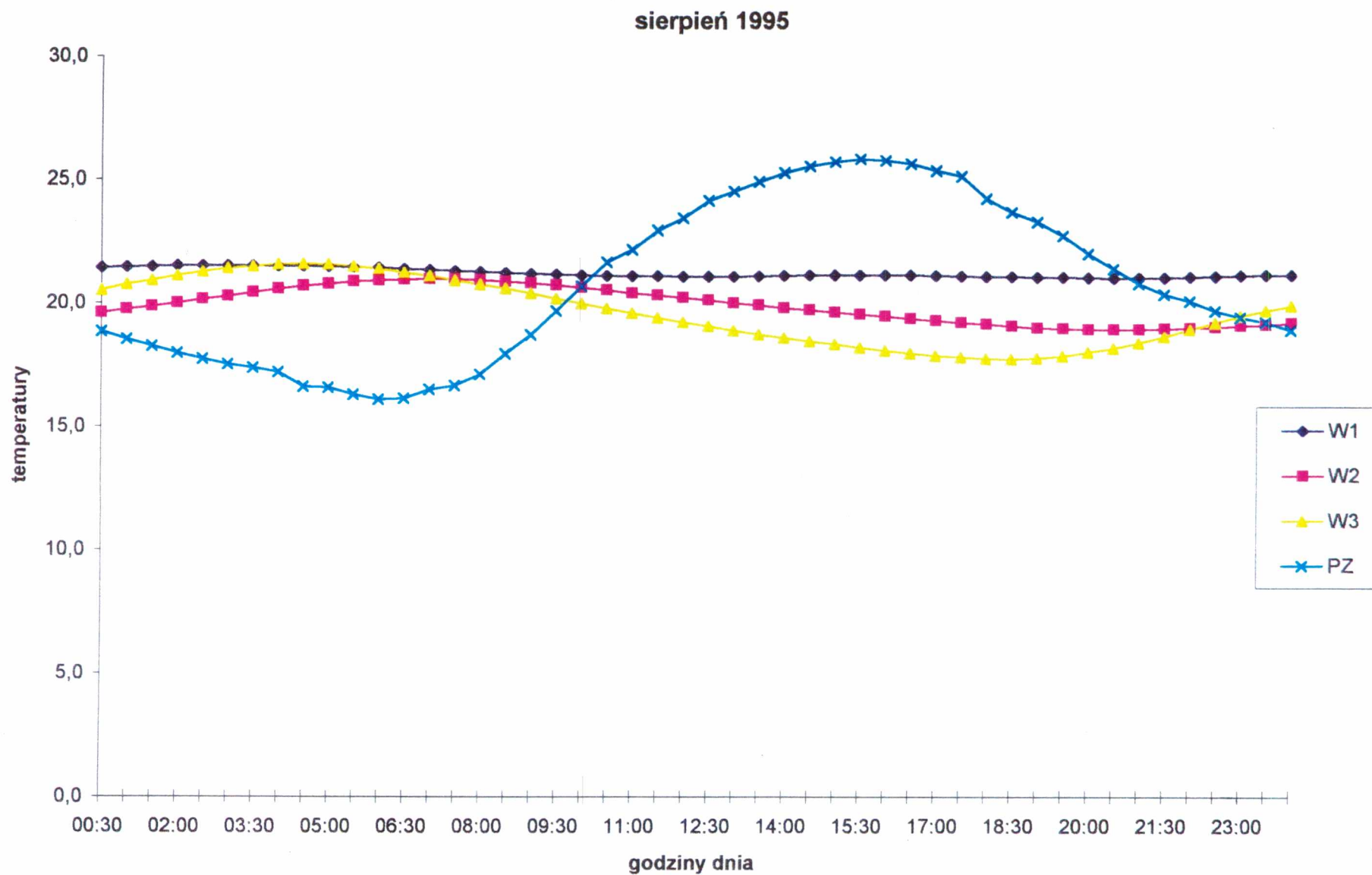
czerwiec 1995



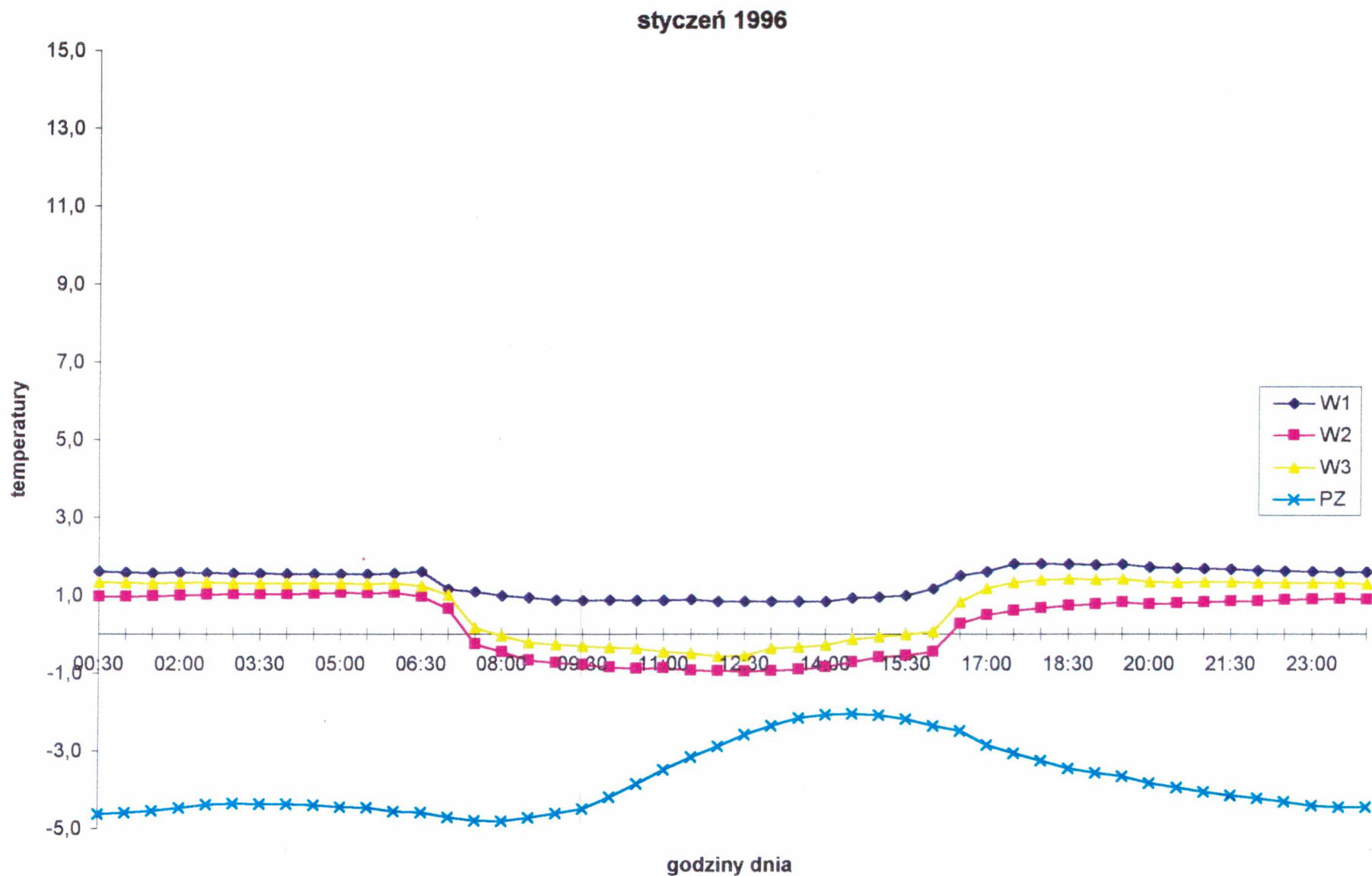
Rys. 19. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu czerwcu 1995 r.



Rys. 20. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu lipcu 1995 r.

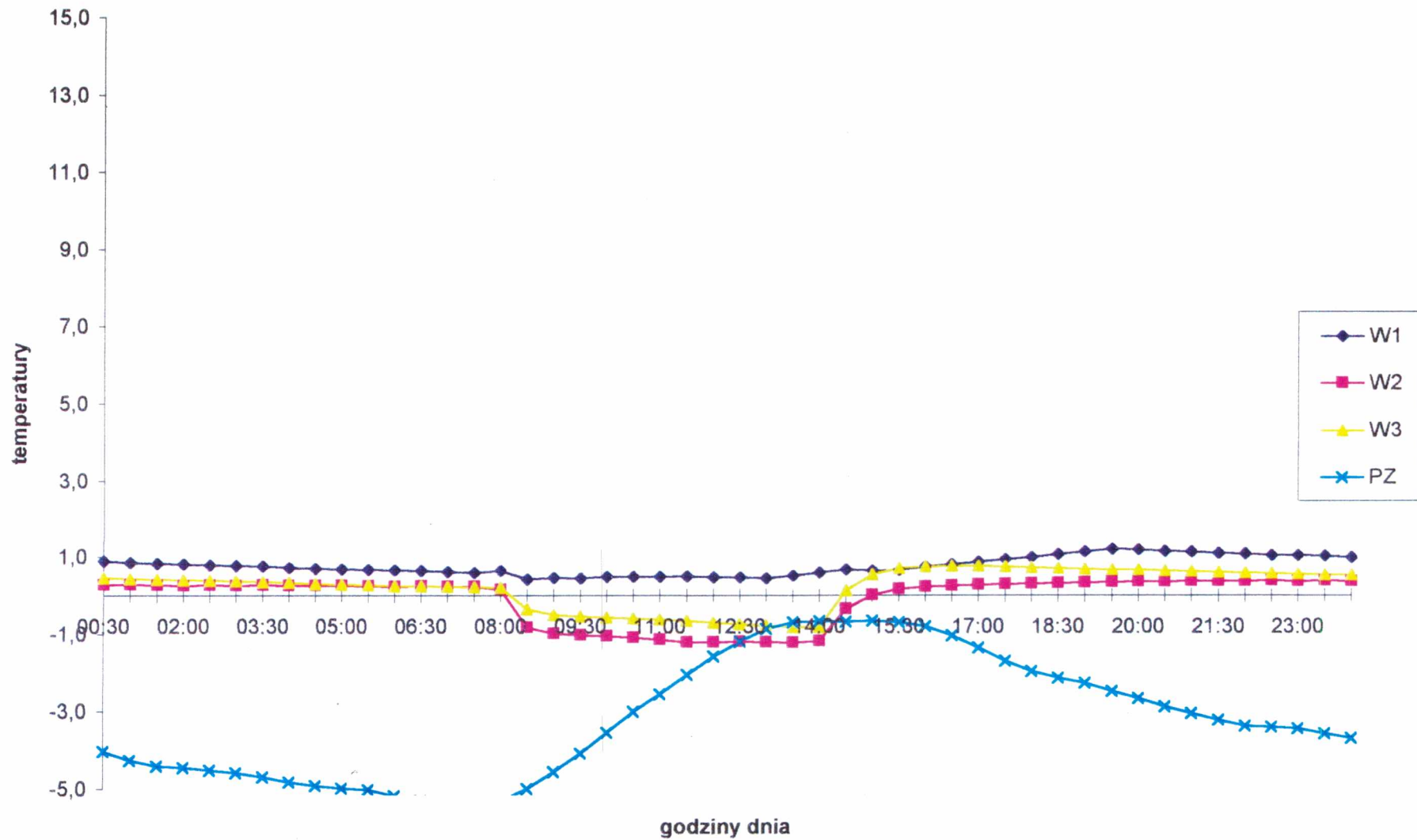


Rys. 21. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu sierpniu 1995 r.



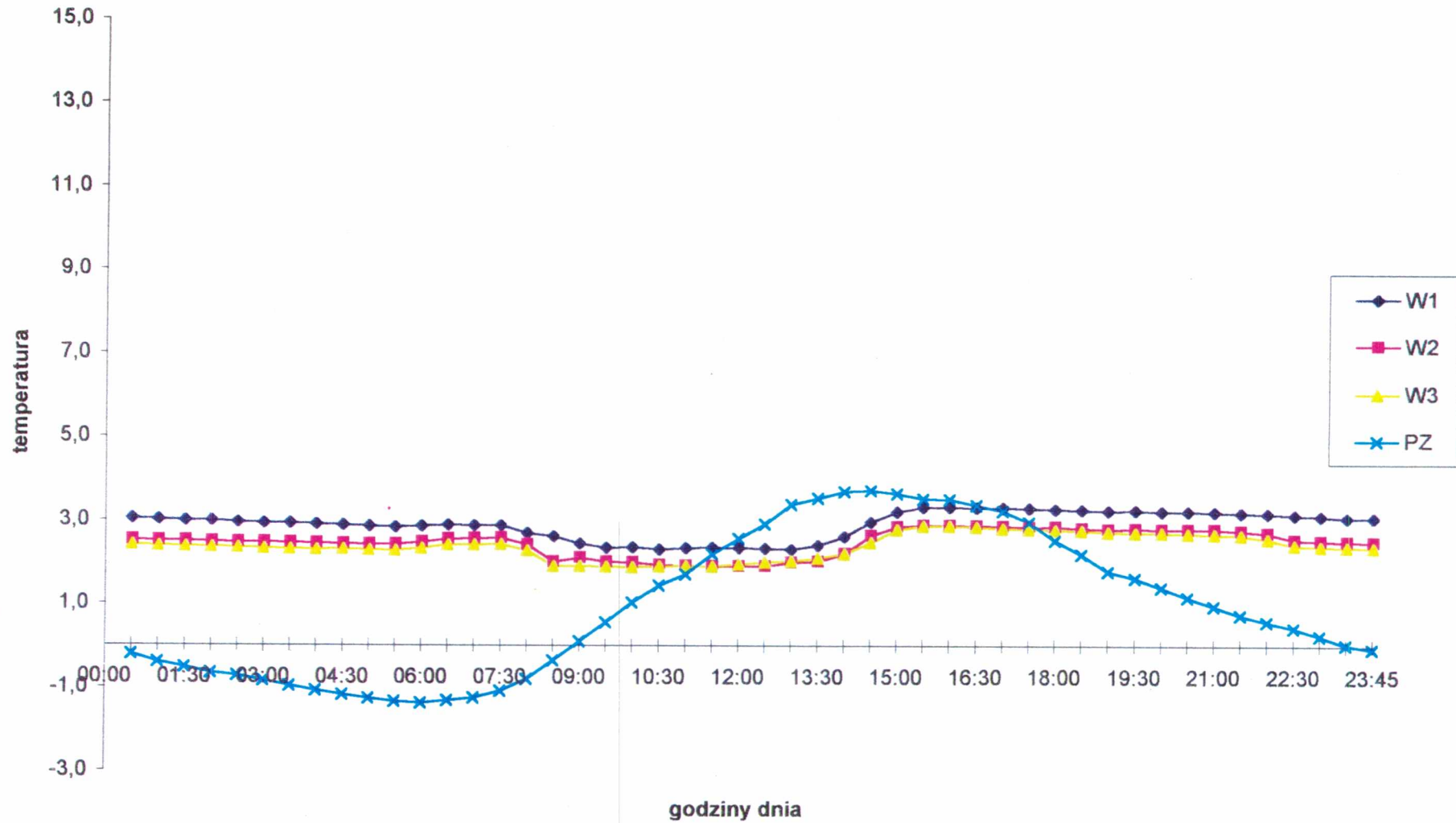
Rys. 22. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu styczniu 1996 r.

luty 1996



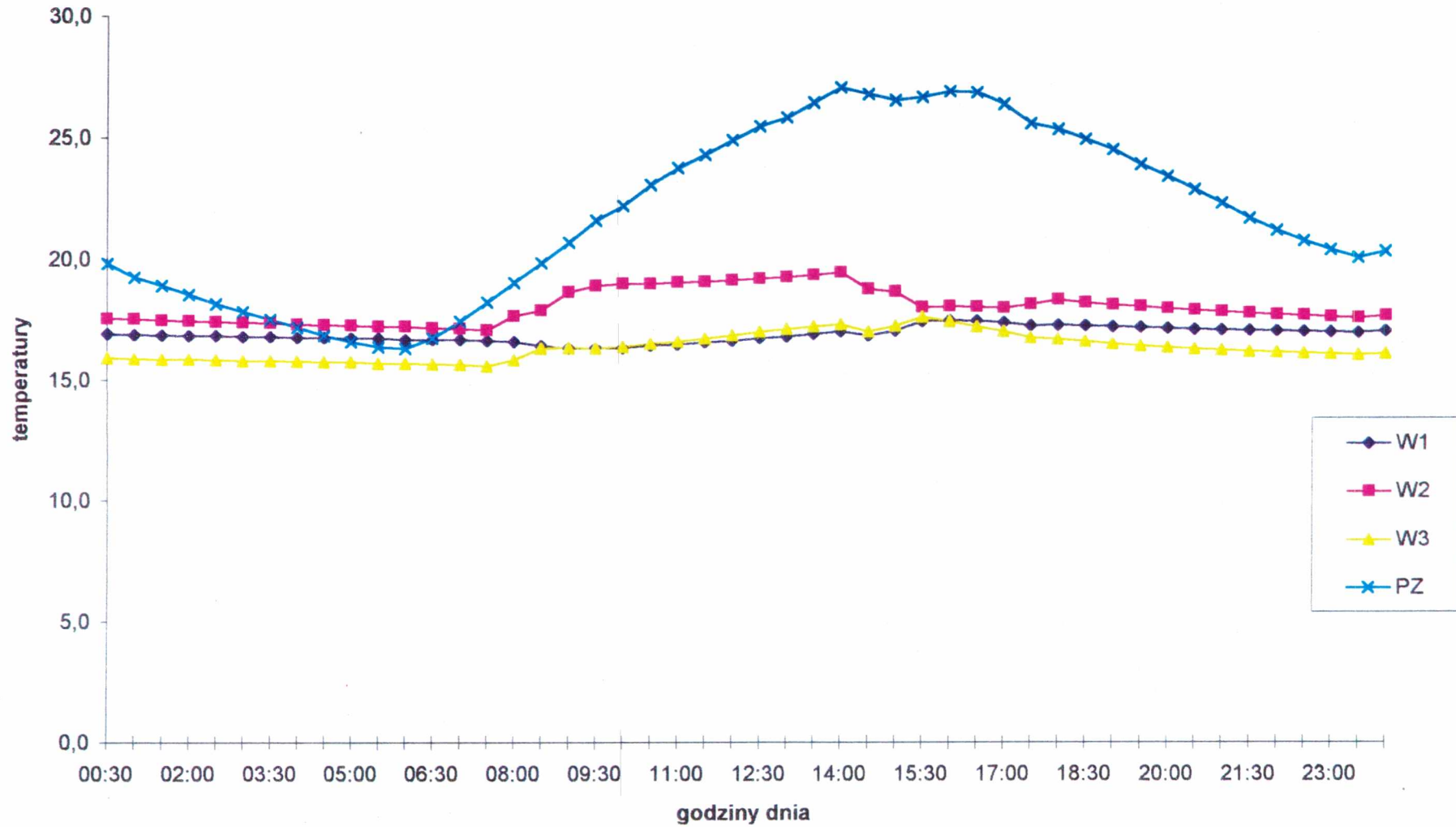
Rys. 23. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu lutym 1996 r.

marzec 1996

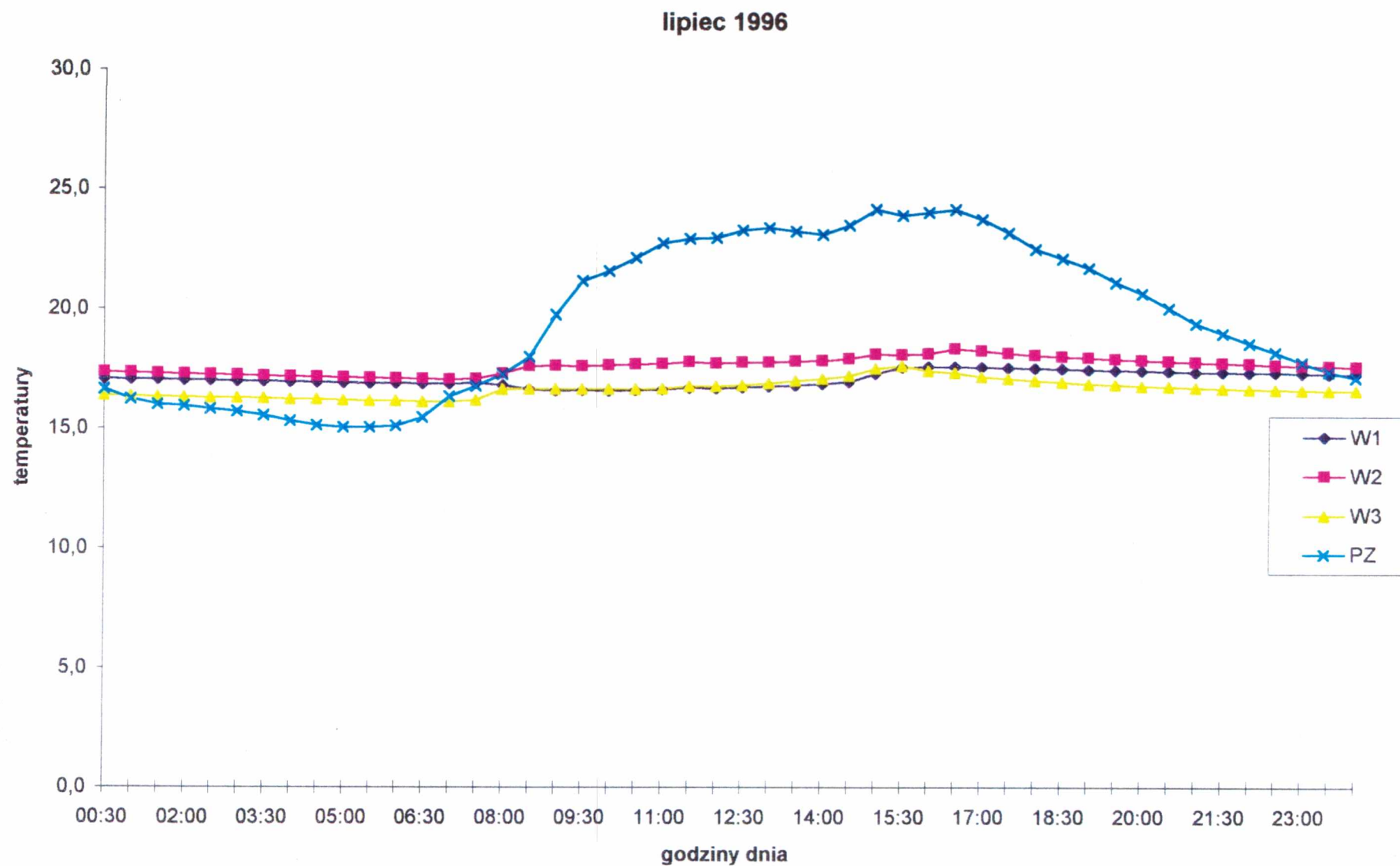


Rys. 24. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu marcu 1996 r.

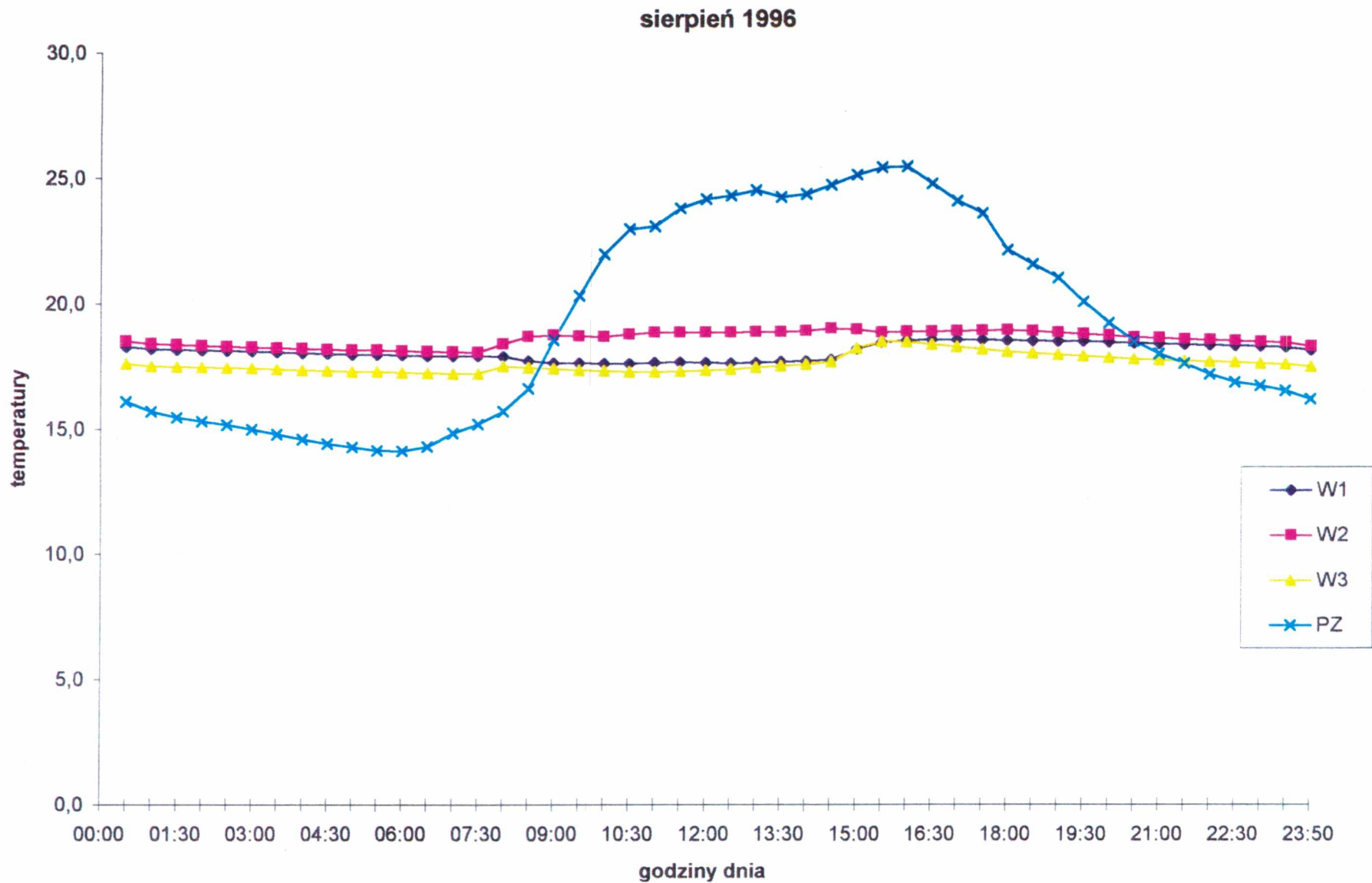
czerwiec 1996



Rys. 25. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu kwietniu 1996 r.

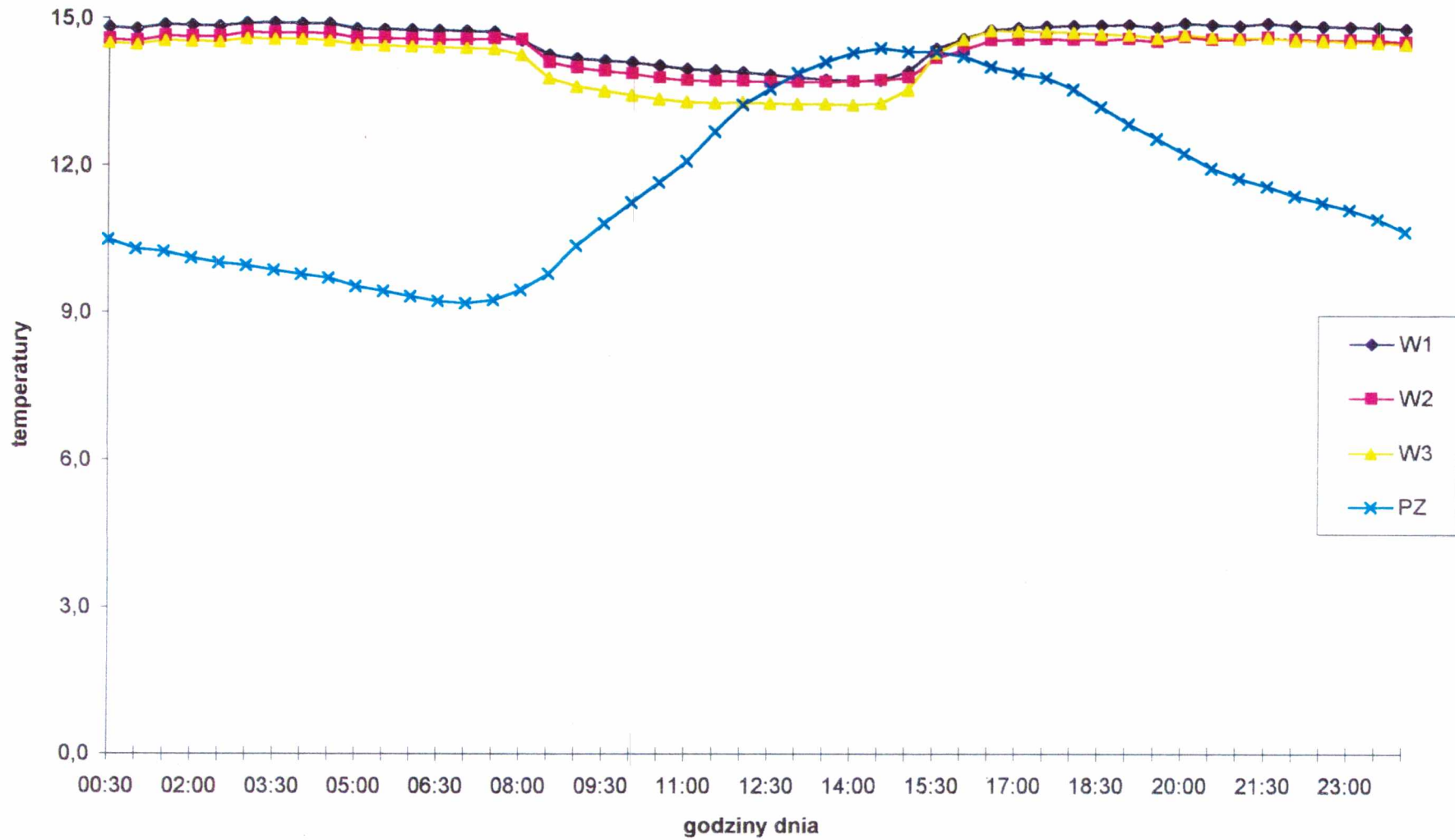


Rys. 26. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu lipcu 1996 r.



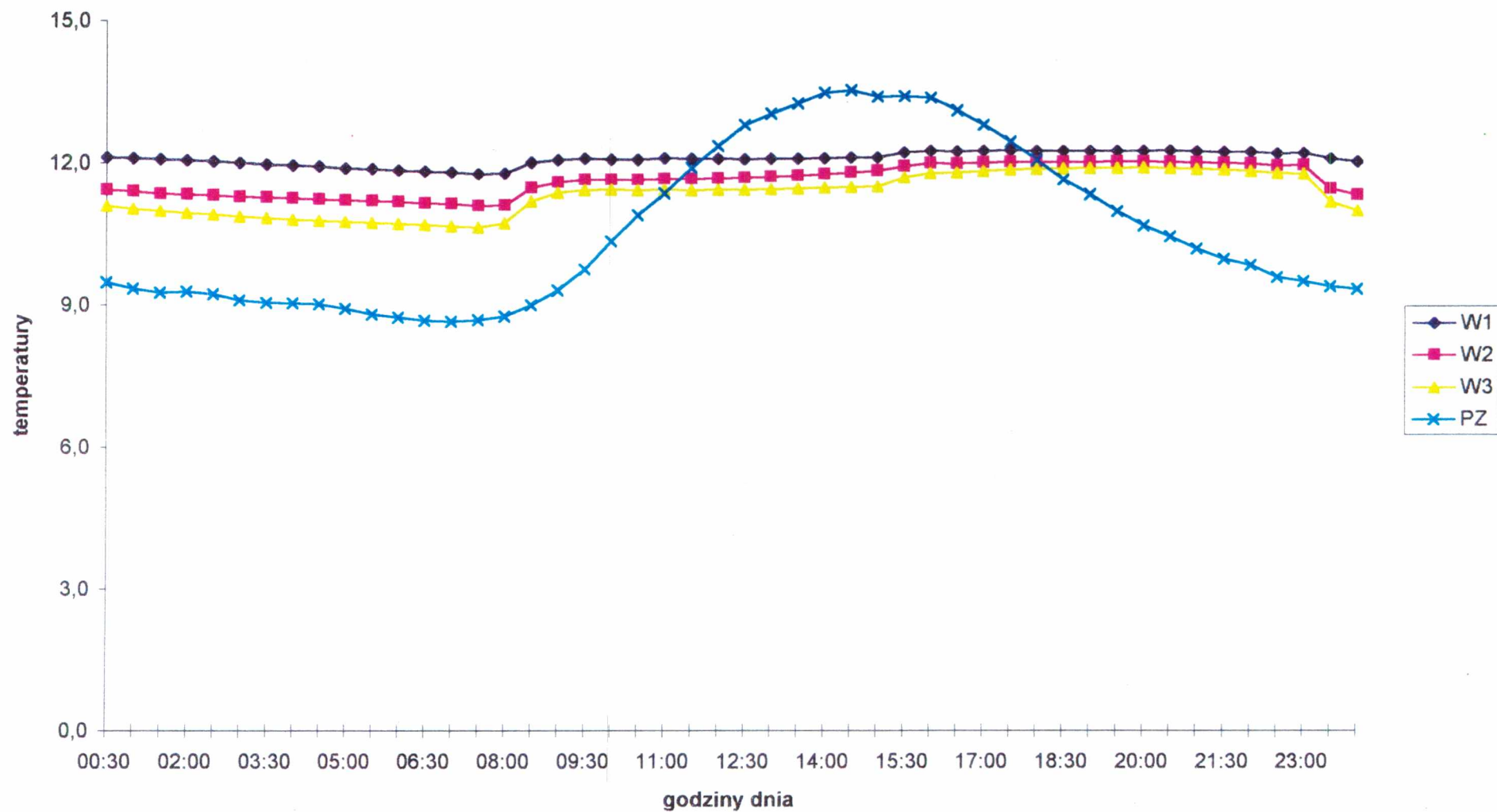
Rys. 27. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu sierpniu 1996 r.

wrzesień 1996

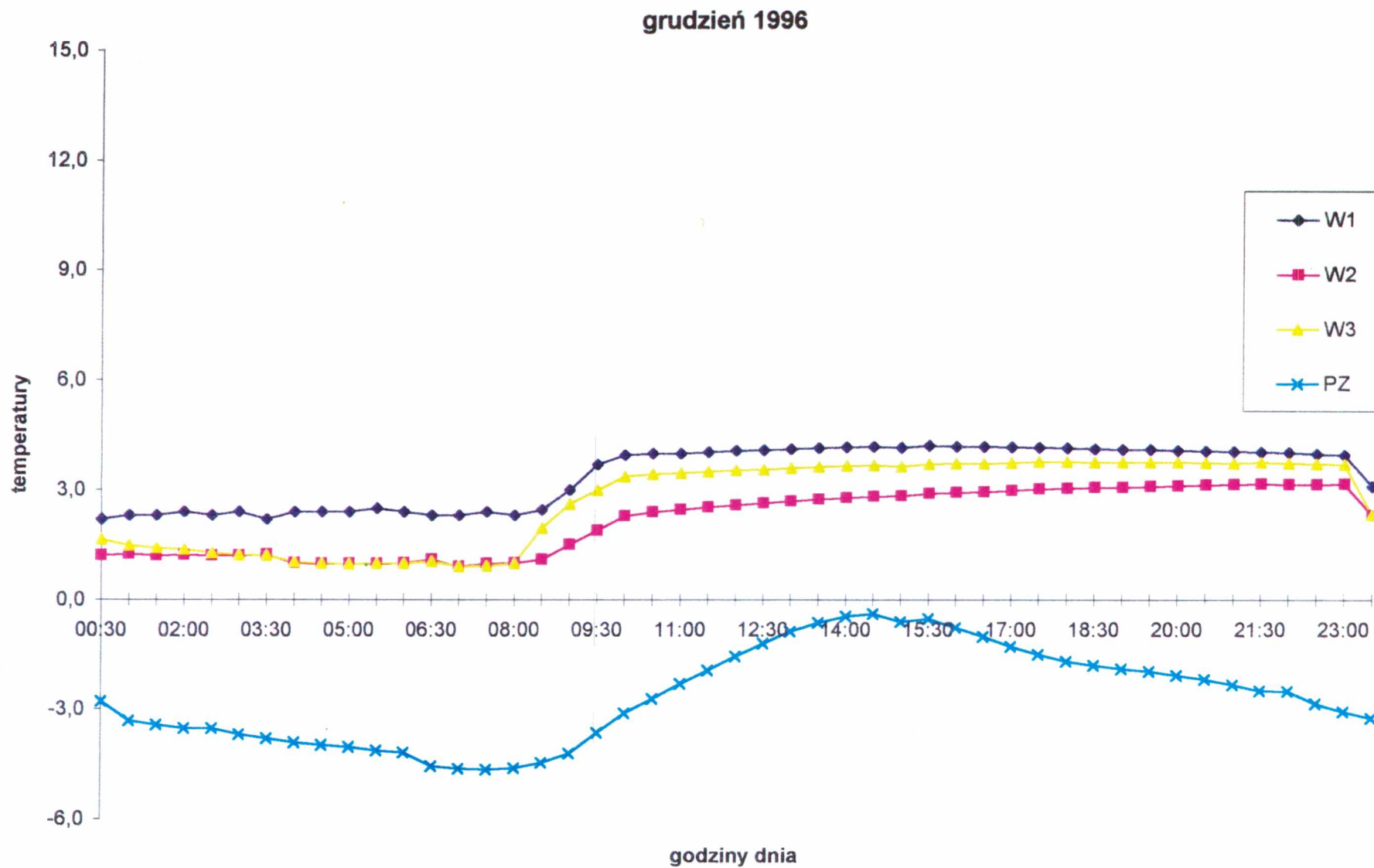


Rys. 28. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu wrześniu 1996 r.

październik 1996

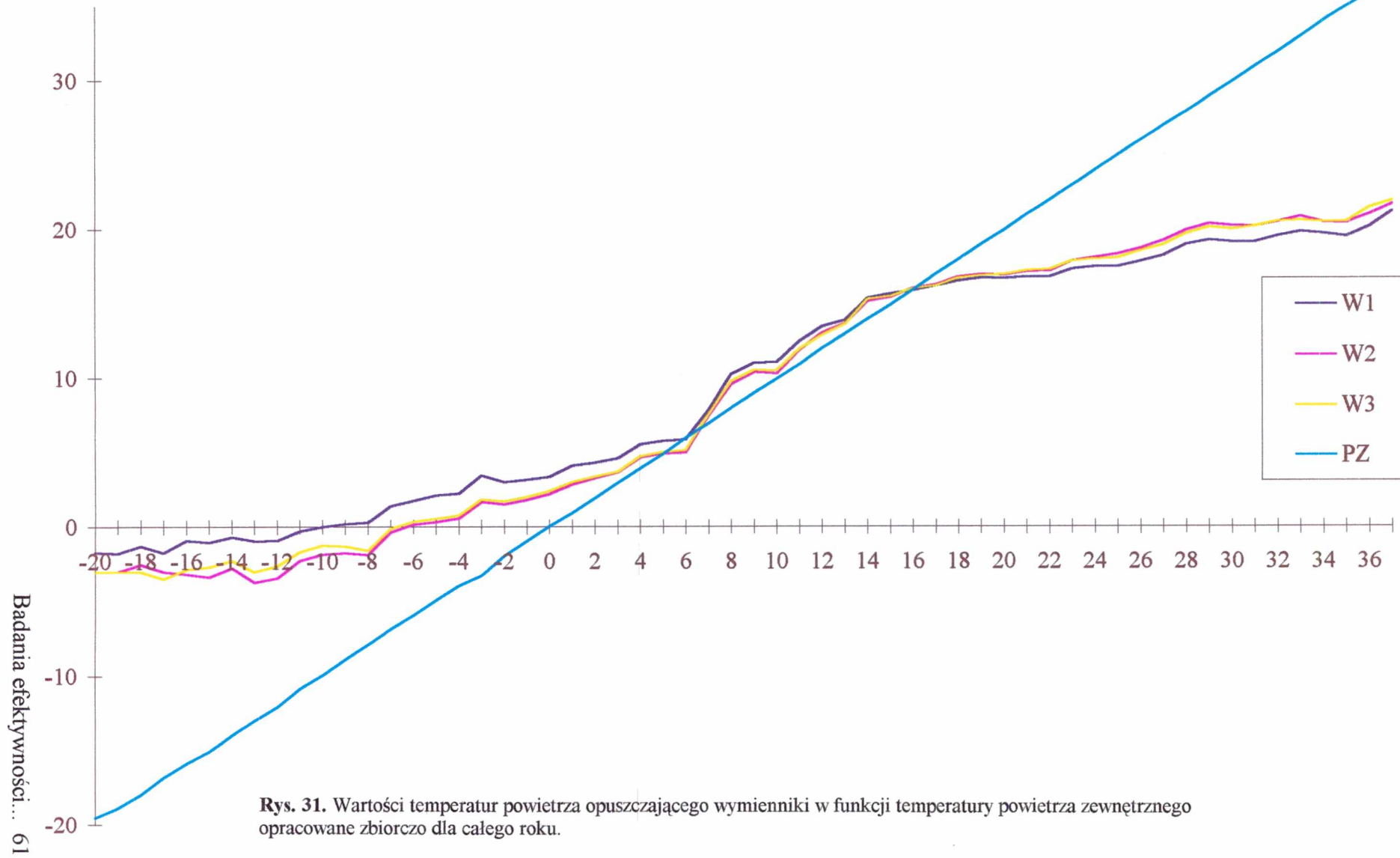


Rys. 29. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu październiku 1996 r.

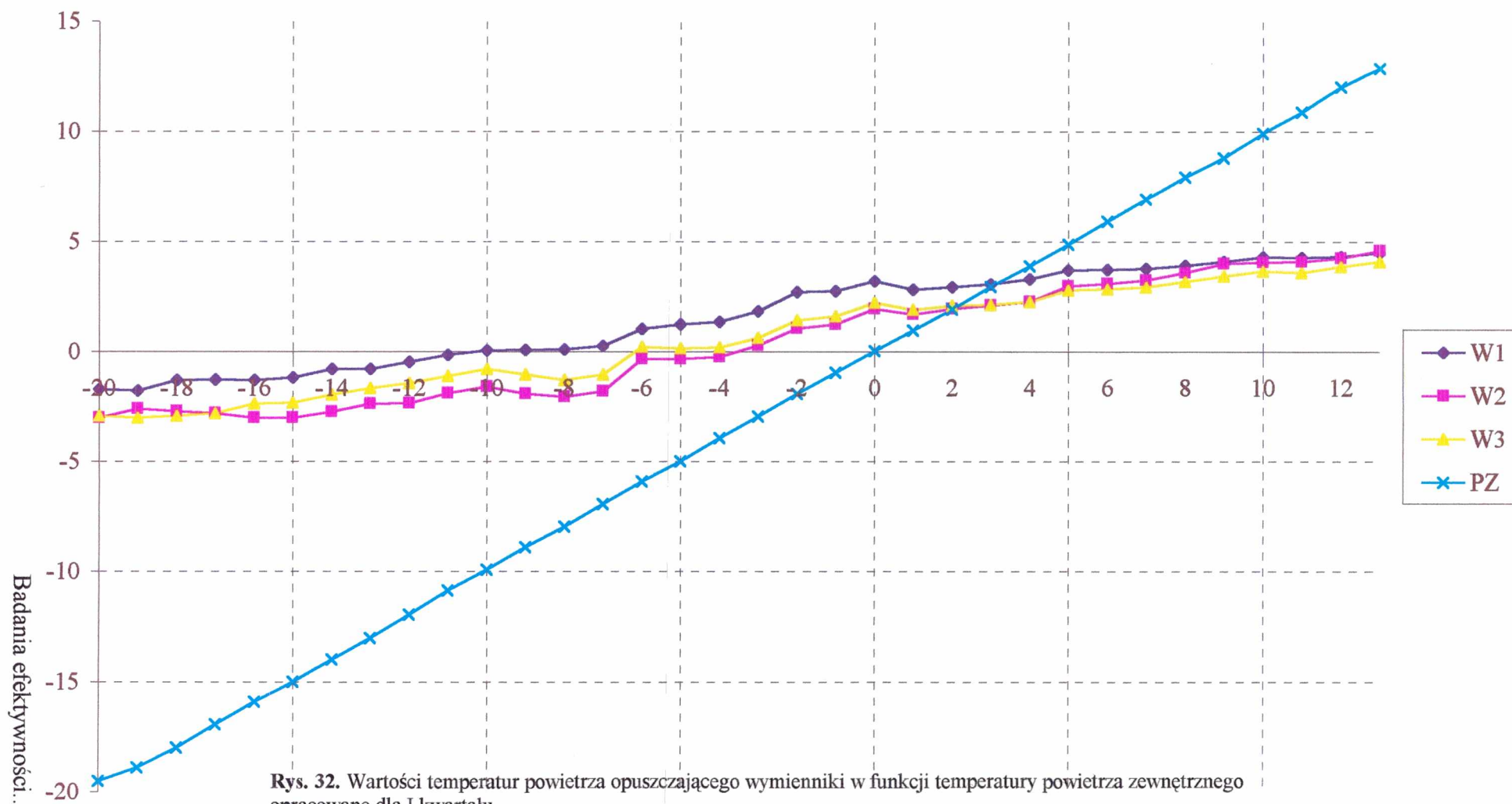


Rys. 30. Zmiana parametrów powietrza zewnętrznego i powietrza opuszczającego wymienniki w dniu przeciętnym w miesiącu grudniu 1996 r.

zestawienie temperatur dla danych z całego roku

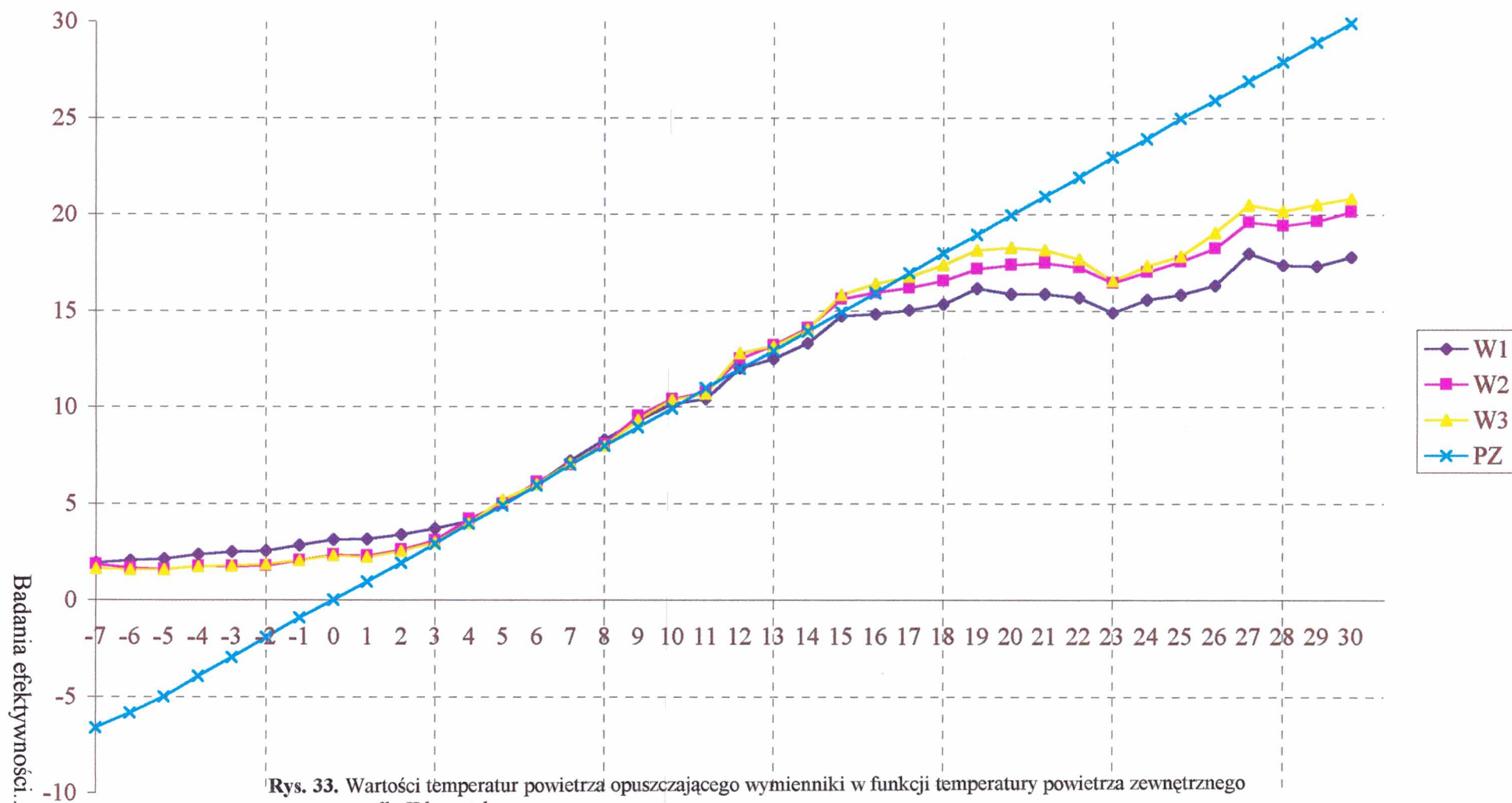


zestawienie temperatur dla I kwartału



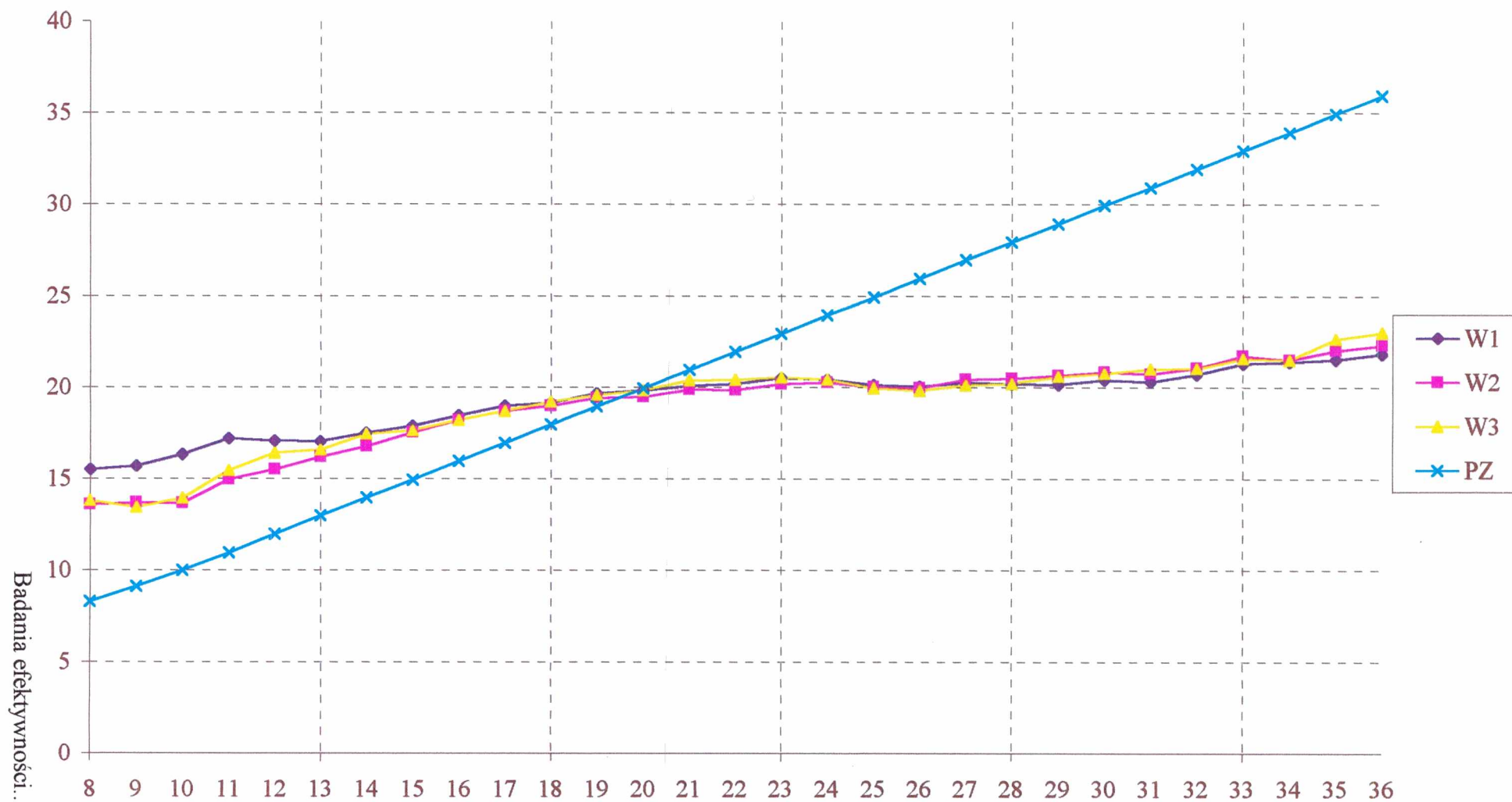
Rys. 32. Wartości temperatur powietrza opuszczającego wymienniki w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego opracowane dla I kwartału.

zestawienie temperatur dla II kwartału



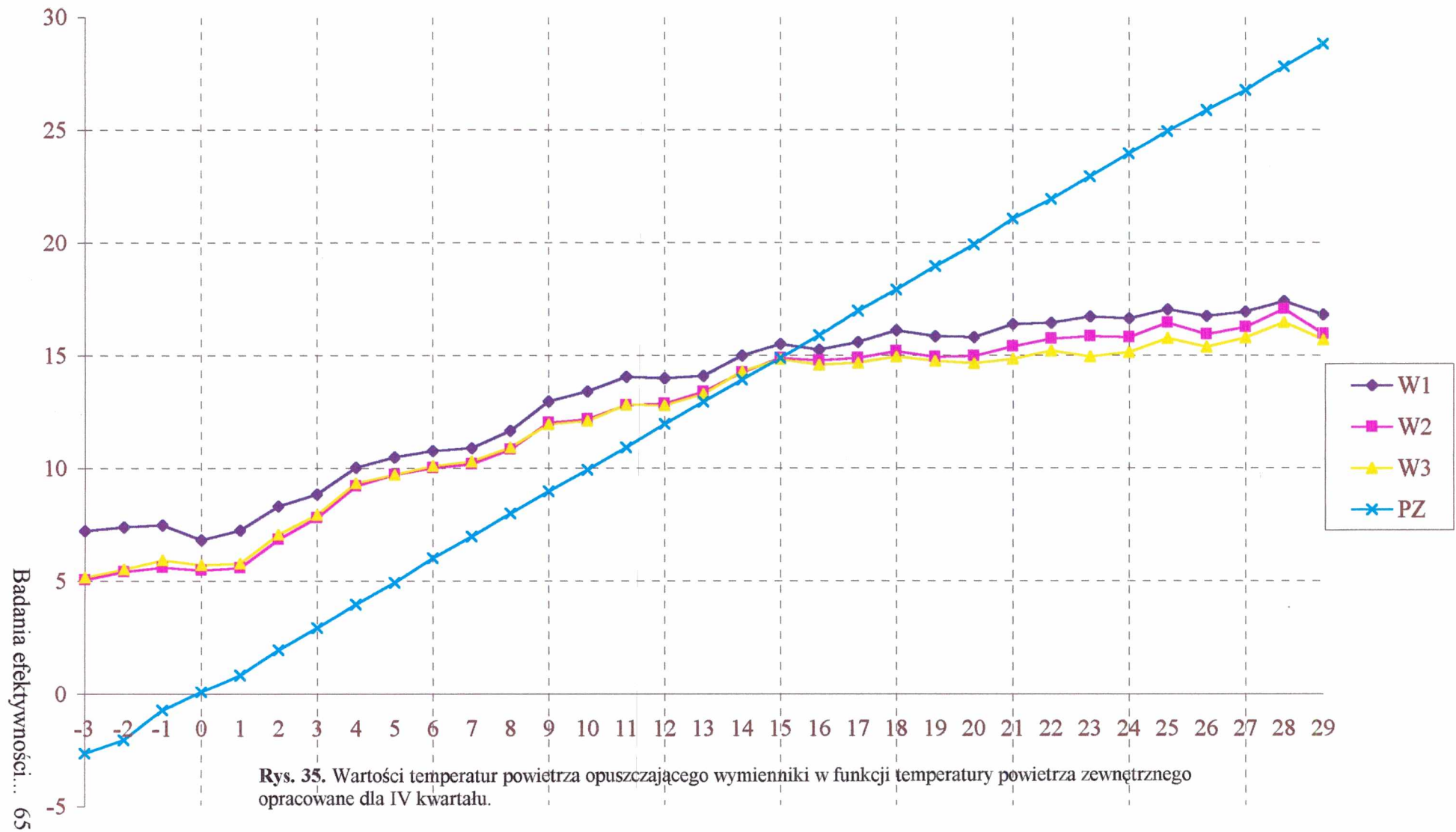
Rys. 33. Wartości temperatur powietrza opuszczającego wymienniki w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego opracowane dla II kwartału.

zestawienie temperatur dla III kwartału



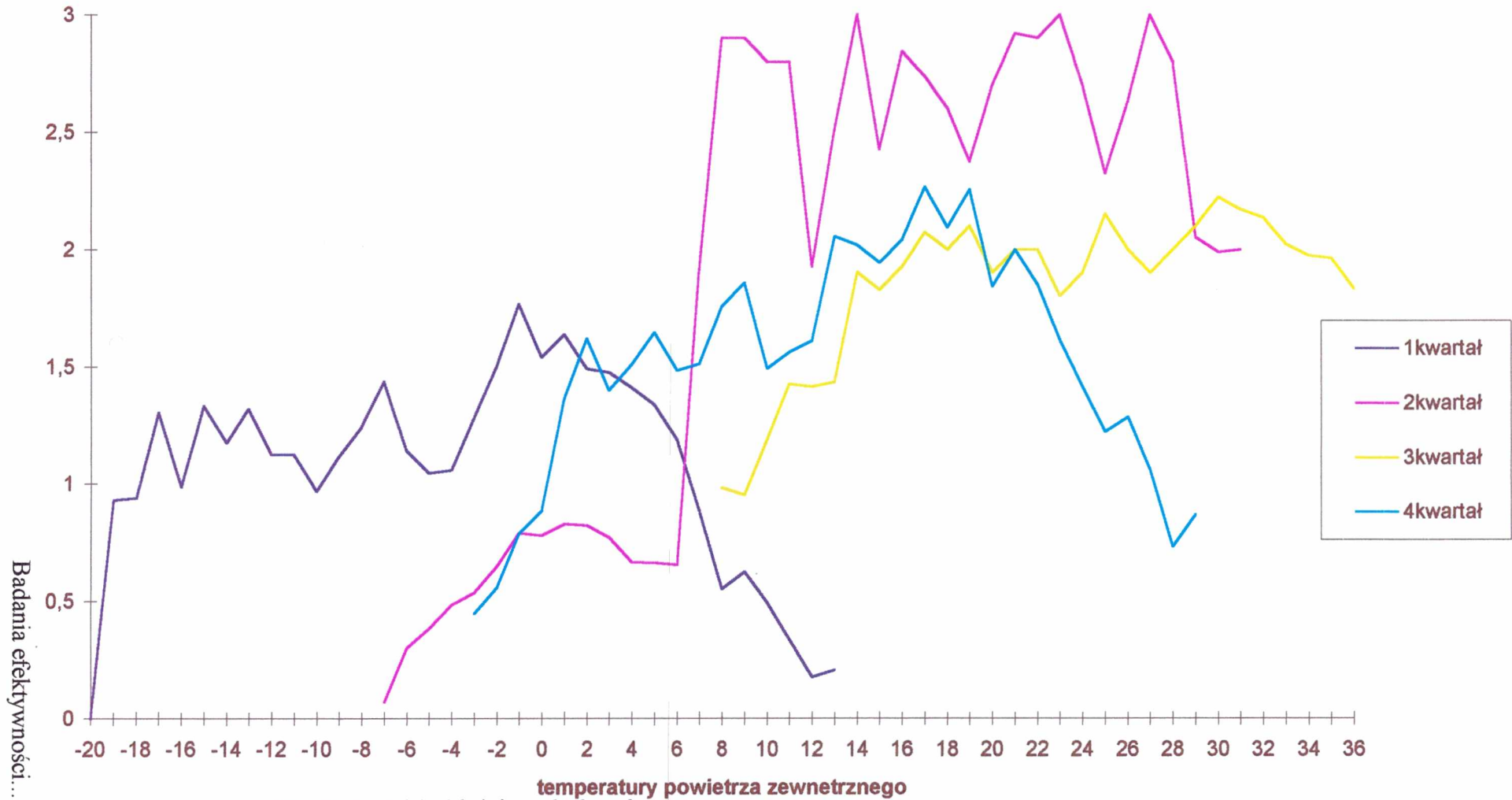
Rys. 34. Wartości temperatur powietrza opuszczającego wymienniki w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego opracowane dla III kwartału.

zestawienie temperatur dla IV kwartału



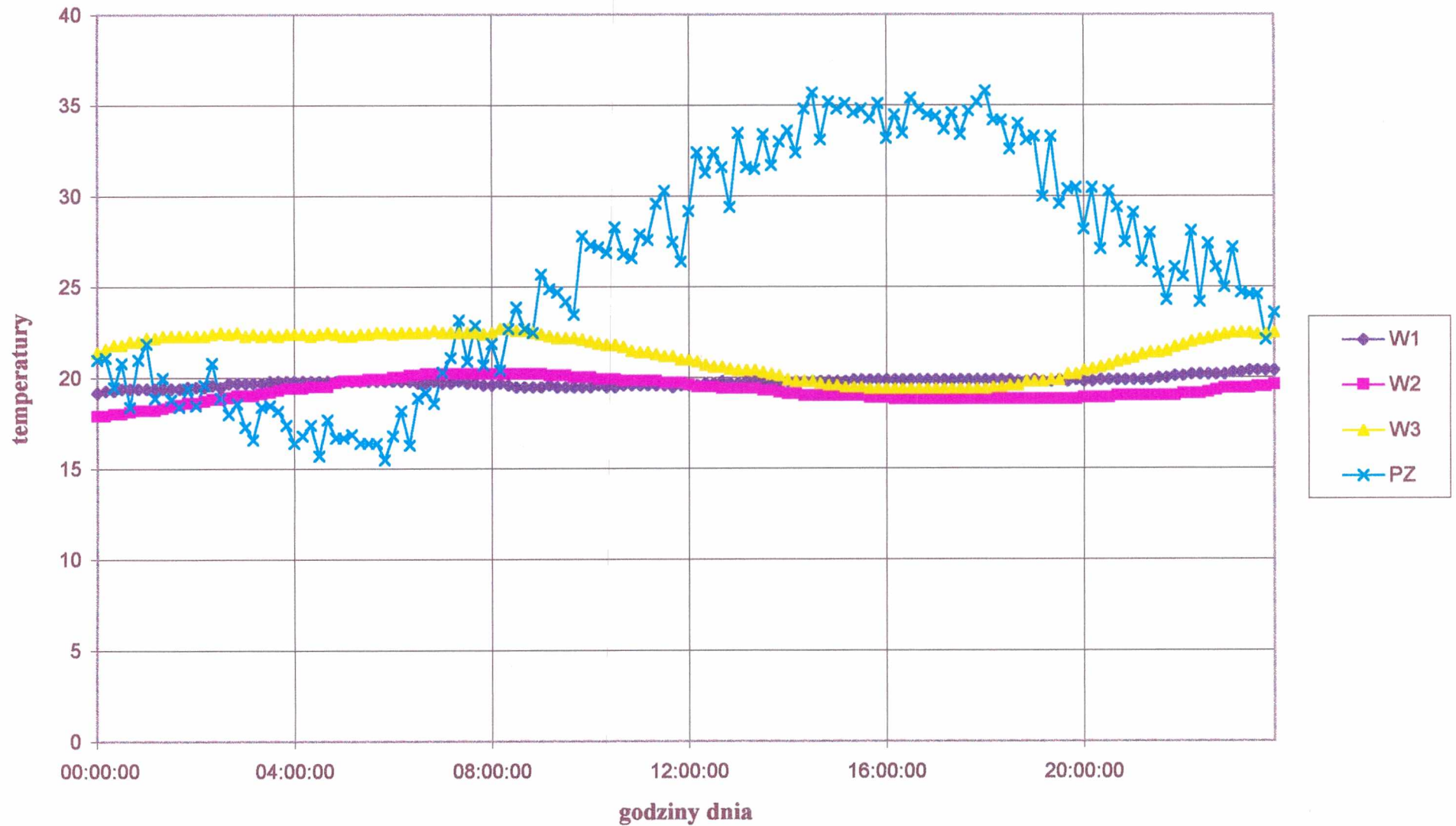
Rys. 35. Wartości temperatur powietrza opuszczającego wymienniki w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego opracowane dla IV kwartału.

wartości odchylenia standardowego dla poszczególnych kwartałów



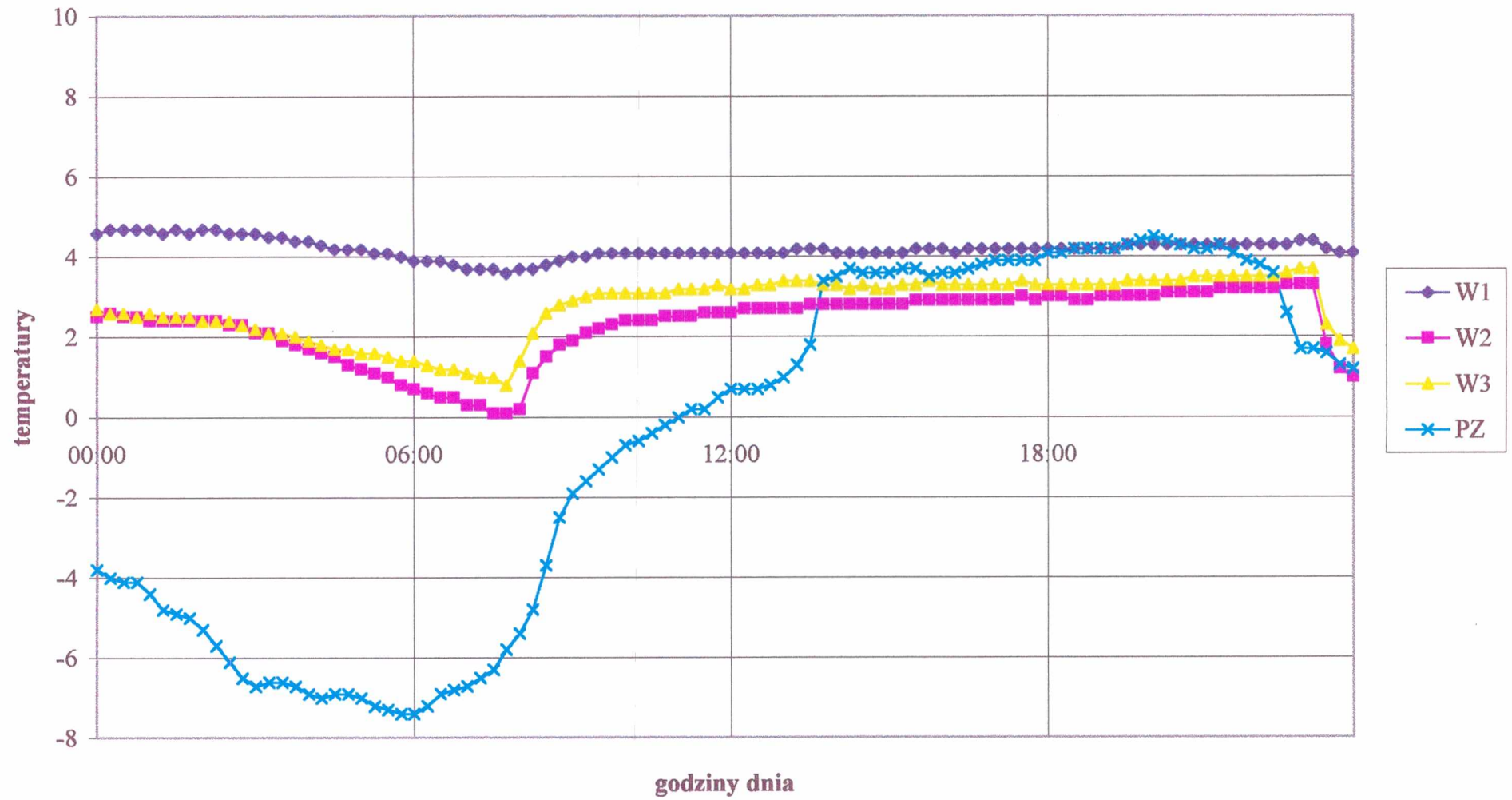
Rys. 36. Wartości odchyłeń standardowych.

08 lipiec 1995 - praca ciągła



Rys. 37. Parametry powietrza opuszczającego wymienniki i powietrza zewnętrznego pomierzone w dniu 08.07.1995 r.

15 grudnia 1996 - praca nocna



Rys. 38. Parametry powietrza opuszczającego wymienniki i powietrza zewnętrznego pomierzone w dniu 15.12.1996 r.

9. Założenia do badań efektywności.

Bezprzeponowe gruntowe wymienniki ciepła i masy (BGWCiM) są oryginalnym rozwiązaniem działającym według omówionej już wcześniej zasady (rys. 8 i 12). Są w stanie w sposób tani i nieuciążliwy dla środowiska pozyskać odnawialną energię z niewielkiej głębokości gruntu. Umożliwiają w ten sposób zaoszczędzenie dużych ilości energii: tzw. ciepła wentylacyjnego zimą i energii ziemniczej latem (wytwarzanej tradycyjnie w agregatach ziemniczych).

W analizowaniu efektywności pracy BGWCiM wzięto pod uwagę instalacje wentylacyjne z całorocznym normowaniem temperatury. Przy obliczaniu kosztów inwestycyjnych oddzielono koszty związane z budową gruntowych wymienników ciepła od kosztów innych elementów instalacji.

Stwierdzono, iż zastosowanie wymiennika gruntowego, jako elementu wstępnie uzdatniającego powietrze nawiewane do pomieszczeń, ma istotny wpływ na wielkość tradycyjnych wymienników ciepła w instalacji. Są one wtedy mniejsze. Założono, że elementy instalacji takie jak: filtry, kanały, kratki nawiewne i wentylatory, będą w obu rodzajach instalacji takie same.

Pod uwagę wzięto trzy różne rozwiązania konstrukcji wymiennika gruntowego (rys. 12), przyjmując również dla każdej z nich po pięć różnych strumieni powietrza wentylacyjnego, mianowicie: 3000, 6000, 9000, 15000 i 25000 m³/h. Podstawowe wymiary zaprojektowanych wymienników podano na rys. 39 i w tabelach 1÷3.

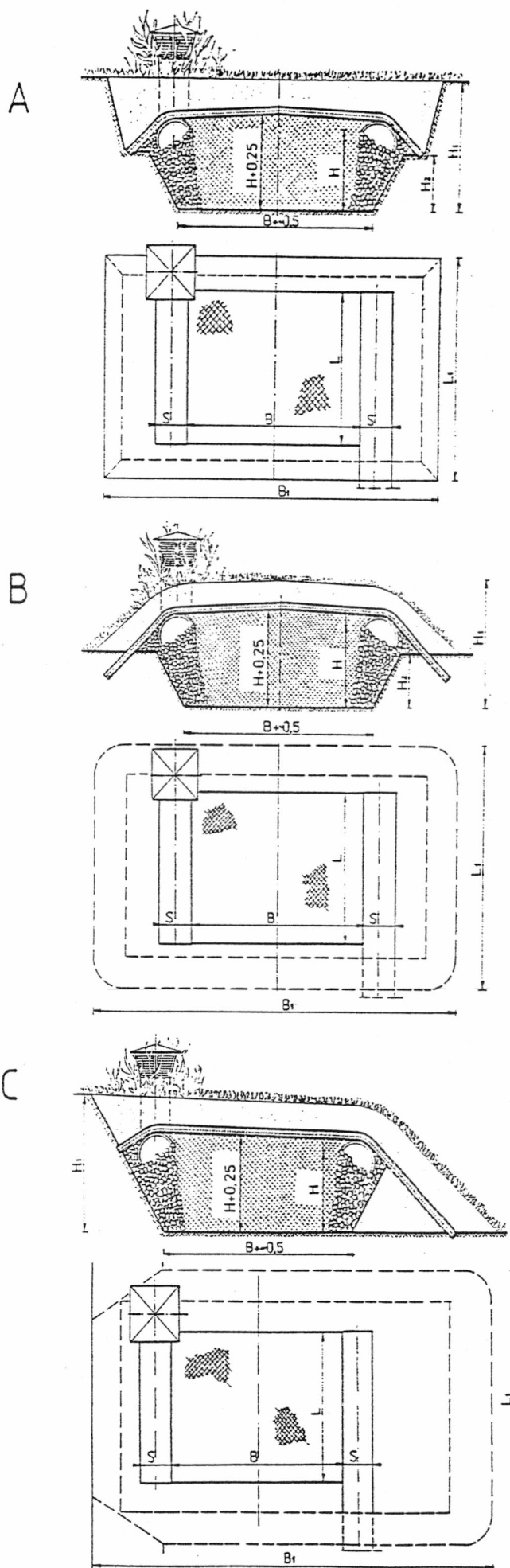
Przeanalizowano również dwa zakresy czasu pracy instalacji wentylacyjnych:

- dla biur, sklepów itp. przyjęto czas pracy od 8⁰⁰ do 18⁰⁰,
- dla np. teatrów i kin - czas pracy od 16⁰⁰ do 23⁰⁰,

Dla podanych wyżej godzin pracy określono koszty eksploatacyjne instalacji, biorąc pod uwagę:

- dane klimatyczne opisane w normie niemieckiej DIN4710 [22] dla strefy Berlina, jako najbardziej zbliżone do warunków panujących w zachodniej części Polski,
- dane klimatyczne uzyskane z pomiarów prowadzonych we Wrocławiu w latach 1991 - 1996.

Koszty inwestycyjne obliczono opierając się na kosztorysach sporządzonych dla każdej z wielkości wymiennika w różnych formach wykonania. Do obliczeń przyjęto ceny materiałów, roboczo- i maszyno-godzin: dla warunków niemieckich według danych pochodzących z cenników firm budowlanych z okolic Stuttgartu, dla warunków polskich według cenników (np. Sekocenbud).



Rys. 39. Główne wymiary wymienników gruntowych typu A, B, C.

Tabela 1: Wymiary wymienników typu A (całkowicie zagłębionych).

wymiary w m	strumień powietrza w m ³ /h				
	3000	6000	9000	15000	25000
B	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
B ₁	6,0	6,8	7,3	8,5	8,5
H	1,3	1,8	2,2	2,2	2,2
H ₁	2,15	2,65	3,1	3,1	3,1
H ₂	1,0	1,5	1,9	1,2	1,0
L	4,0	5,8	7,1	11,8	19,7
L ₁	5,2	7,2	8,8	13,5	21,4
S	0,6	0,9	1,1	1,4	1,8

Tabela 2: Wymiary wymienników typu B (częściowo zagłębionych).

wymiary w m	strumień powietrza w m ³ /h				
	3000	6000	9000	15000	25000
B	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
B ₁	6,6	7,7	8,5	8,5	8,5
H	1,3	1,8	2,2	2,2	2,2
H ₁	2,13	2,65	3,1	3,1	3,1
L	4,0	5,8	7,1	11,8	19,7
L ₁	6,4	8,7	10,4	15,1	23,0
S	0,6	0,9	1,1	1,4	1,8

Tabela 3: Wymiary wymienników typu C (przy skarpie).

wymiary w m	strumień powietrza w m ³ /h				
	3000	6000	9000	15000	25000
B	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
B ₁	7,2	7,8	9,0	8,5	8,5
H	1,3	1,8	2,2	2,2	2,2
H ₁	2,2	2,7	3,2	3,1	3,1
L	4,0	5,8	7,1	11,8	19,7
L ₁	8,4	11,2	13,5	18,2	26,7
S	0,6	0,9	1,1	1,4	1,8

Koszty eksploatacyjne i inwestycyjne określono dla instalacji wentylacyjnej z zastosowaniem wymiennika gruntowego i dla tradycyjnej instalacji. Dla każdego z przypadków obliczono czas zwrotu kapitału i okres amortyzacji.

W tabeli 4 przedstawiono stopniogodziny wentylacji dla tradycyjnej instalacji wentylacyjnej i dla podobnej instalacji, lecz z zastosowanym wymiennikiem gruntowym BGWCiM.

Ceny porównywanych komponentów tradycyjnej instalacji wentylacyjnej (nagrzewnice, chłodnice, agregaty ziemnicze) przyjęto na podstawie ofert producentów tych elementów.

W załączniku 1 przedstawiono przykładowe kosztorysy wykonania wymienników BGWCiM dla dwóch wielkości 15000 m³/h i 25000 m³/h i trzech różnych form wykonania.

10. Koszty inwestycyjne.

10.1. Instalacja z BGWC i M.

W przeprowadzonej analizie uwzględniono trzy różne sposoby wykonania wymiennika (rys. 12):

- Typ A - wymiennik całkowicie zagłębiony,
- Typ B - wymiennik częściowo zagłębiony,
- Typ C - wymiennik wykonany nad terenem, przy skarpie.

Wymiennik typu B jest zagłębiony jedynie na tyle, aby objętość ziemi niezbędna do wykopania dla utworzenia złoża równa była objętości ziemi niezbędnej do przykrycia wymiennika. W tym przypadku nie występuje potrzeba przywozu ani wywozu ziemi.

Wymienniki zostały dobrane w ten sposób, by dla wszystkich form i wielkości analizowanych wymienników straty ciśnienia były porównywalne i bliskie 200 Pa.

Zastosowanie wymienników gruntowych może spowodować wzrost oporów instalacji i w związku z tym wzrost zużycia energii do napędu wentylatora. Wówczas mogłyby być nieznacznie wyższe także ceny zastosowanych silników. Jednak jeśli uwzględnić brak wymiennika chłodzącego powietrze (chłodnicy) i nieco mniejsze opory na nagrzewnicy, gdyż mniejsza jest liczba rzędów wymiennika ze względu na wstępny podgrzew powietrza w wymienniku gruntowym, wówczas dodatkowy opór spowodowany zastosowaniem wymiennika gruntowego okaże się znikomy i jest pomijalny.

Do kosztów inwestycyjnych w instalacjach z wymiennikami gruntowymi należy doliczyć ceny przepustnic z siłownikami, urządzeń niezbędnych do sterowania pracą instalacji, dla okresowego odcinania przepływu powietrza przez wymiennik.

Przy kosztach inwestycyjnych uwzględniono również koszty nagrzewnic, które w instalacjach z wymiennikiem gruntowym są mniejsze i przez to tańsze.

W instalacjach z wymiennikami gruntowymi nie uwzględniano kosztów zakupu chłodziw i agregatów chłodziw. Na podstawie danych doświadczalnych można przyjąć, iż ilość chłodu uzyskiwana w BGWCiM jest z dużym prawdopodobieństwem wystarczająca dla obiektów pracujących przez część doby, takich jak: sklepy, teatry, biura itp.

10.2. Instalacje bez BGWC i M.

W obliczeniach kosztów inwestycyjnych dla instalacji bez BGWCiM uwzględniono koszty związane z chłodziwami, agregatami chłodziwymi i większymi nagrzewnicami. Nagrzewnice są większe, niż w przypadku wcześniej rozważanym, ponieważ do obliczeń ich wielkości należy przyjmować zewnętrzną obliczeniową temperaturę powietrza, a nie odpowiednio wyższą temperaturę jak w instalacjach z BGWCiM, gdzie następuje wstępne podgrzanie powietrza.

Do ochłodzenia powietrza wentylacyjnego przyjęto wymiennik z freonem R22, jako rozwiązanie tańsze niż chłodziwa wodne. Ceny agregatu chłodziwego zawierają cenę automatyki agregatu, nie zawierają jednak kosztów automatyki związanej z regulacją chłodziwa.

W cenie agregatów chłodziw nie uwzględniono kosztów związanych z wykonaniem instalacji freonowej i uruchomienia układu chłodziwego. Koszty te w każdym z konkretnych obiektów mogą być różne.

11. Koszty eksploatacyjne.

Roczne koszty eksploatacyjne policzono dla przykładowej instalacji z BGWCiM i instalacji tradycyjnej, uwzględniając warunki klimatyczne opisane w niemieckiej normie DIN 4710 dla Berlina i dane z pomiarów wykonanych we Wrocławiu w latach 1991-96 przez Zakład Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego. Do obliczeń przyjęto parametry „przeciętnego” dnia.

Tabela 4. Stopniogodziny grzania i chłodzenia.

	Stopniogodziny ogrzewania				Stopniogodziny chłodzenia
	warunki niemieckie		warunki polskie		
Czas pracy od 0.00 do -	G _L	G _{LA}	GL	GLA	G _K
1.00	4539	3612	4723	3426	0
2.00	9195	7263	9547	6906	0
3.00	13960	10953	14450	10446	0
4.00	18816	14688	19432	14016	0
5.00	23716	18438	24444	17592	0
6.00	28564	22131	29354	21135	0
7.00	33216	25728	33998	24573	5
8.00	37679	29202	38325	27885	13
9.00	41854	32544	42235	31074	48
10.00	45725	35730	45691	34080	153
11.00	49318	38709	48772	36894	333
12.00	52700	41595	51566	39537	586
13.00	55922	44319	54158	42054	898
14.00	59042	46932	56714	44463	1255
15.00	62135	49509	59299	46824	1644
16.00	65270	52089	62020	49200	2032
17.00	68517	54750	64951	51678	2383
18.00	71915	57534	68169	54276	2673
19.00	75473	60630	71755	57057	2887
20.00	79220	63759	75614	59970	3015
21.00	83186	66972	79747	63063	3065
22.00	87299	70325	84081	66264	3091
23.00	91564	73709	88574	69528	3106
24.00	95974	77207	93196	72879	3114

Poprzez pojęcie stopniogodzin wentylacji G_L za Recknaglem [42] rozumie się wynik mnożenia liczby godzin pracy instalacji wentylacji z i różnicy temperatur pomiędzy temperaturą powietrza nawiewanego t_n i średniej temperatury zewnętrznej powietrza t_z . Ze względu na to, iż instalacje wentylacyjne pracują tylko w ograniczonym czasie (np. teatry w

godzinach wieczornych), do obliczeń przyjmuje się średnie temperatury powietrza zewnętrznego z godzin czasu pracy instalacji.

$$G_L = z \times (t_n - t_z) \quad \text{hK/rok}$$

gdzie:

z- liczba godzin, w których występuje podgrzewanie powietrza wentylacyjnego,

t_n - średnia temperatura pomieszczeń = 20 °C,

t_z - średnia temperatura zewnętrzna powietrza w dniach grzewczych.

Stopniogodzin wentylacji dla instalacji tradycyjnej przedstawiono w tabeli 4.

Dla instalacji z BGWCiM obliczono zapotrzebowanie ciepła dla wentylacji posługując się wynikami z rys. 32 - 35 i uwzględniając występujące wstępne podgrzanie powietrza w wymienniku gruntowym. W podobny sposób jak stopniogodziny dla wentylacji G_L zdefiniowano stopniogodziny wentylacji dla instalacji z BGWCiM G_{LA} . Jest to iloczyn liczby godzin, w których pracuje instalacja wentylacyjna i różnicy temperatur pomiędzy temperaturą powietrza nawiewanego t_n i średnią temperaturą powietrza opuszczającego wymiennik gruntowy t'_z . Temperatury te przyjęto odczytując z wykresów dla odpowiednich wartości temperatur zewnętrznych powietrza:

$$G_{LA} = z \times (t_n - t'_z) \quad \text{hK/rok,}$$

gdzie:

t'_z -średnia temperatura powietrza opuszczającego wymiennik gruntowy dla odpowiadającej jej temperatury powietrza zewnętrznego

Na rysunkach 40 i 41 przedstawiono różnice stopniogodzin grzania i chłodzenia w dniach słonecznych, średnich i pochmurnych w trzech letnich i zimowych miesiącach.

Do przeprowadzanych obliczeń wzięto wartości opisujące dni określone jako przeciętne.

12. Wykonanie gruntowych wymienników.

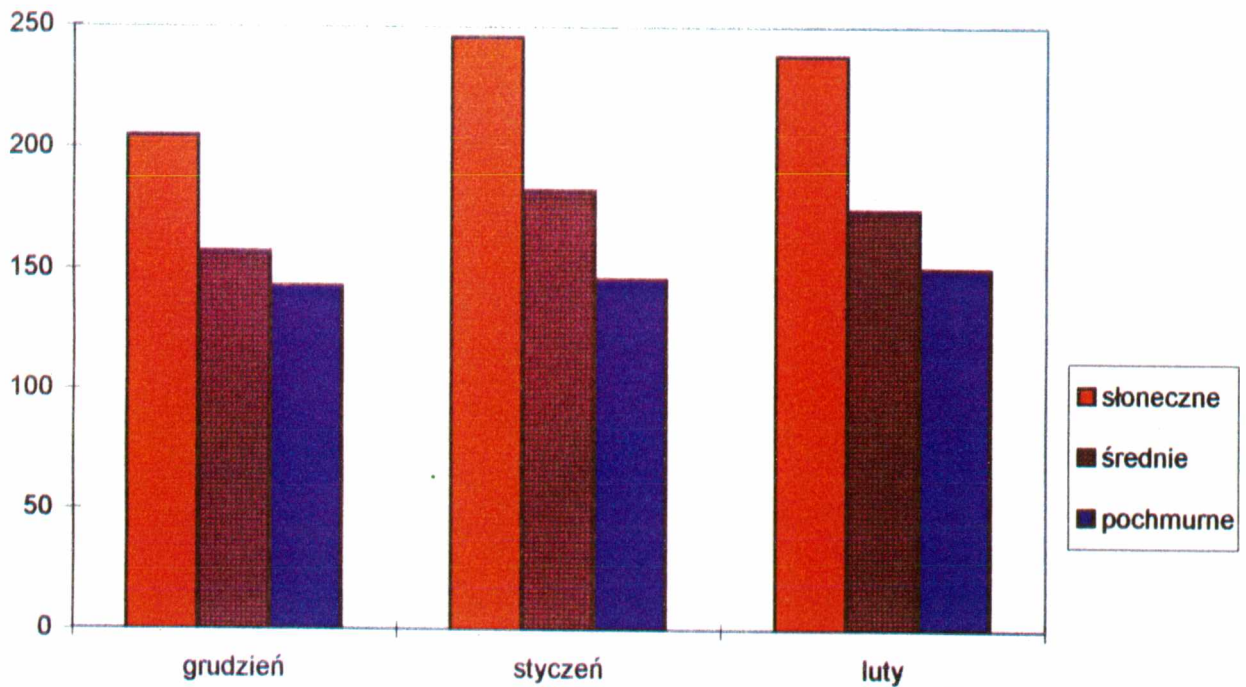
Budowa gruntowych wymienników wymaga następujących prac:

- wykonanie wykopu koparką,
- wywiezienie nadmiaru ziemi (tylko w typie A),
- przywóz niezbędnej objętości ziemi do przykrycia wymiennika (tylko w typie C),
- przywóz złoża tj. kamieni w dwóch granulacjach i wypełnienie nimi wykopu wymiennika,
- wykonanie izolacji termicznej i wilgotnościowej (styropian 2 x 5 cm w folii igielitowej),

- ułożenie kanałów rozdzielającego i zbierającego z elementów betonowych na wylewkach,
- przykrycie wymiennika warstwą ziemi o grubości ok. 50 cm.

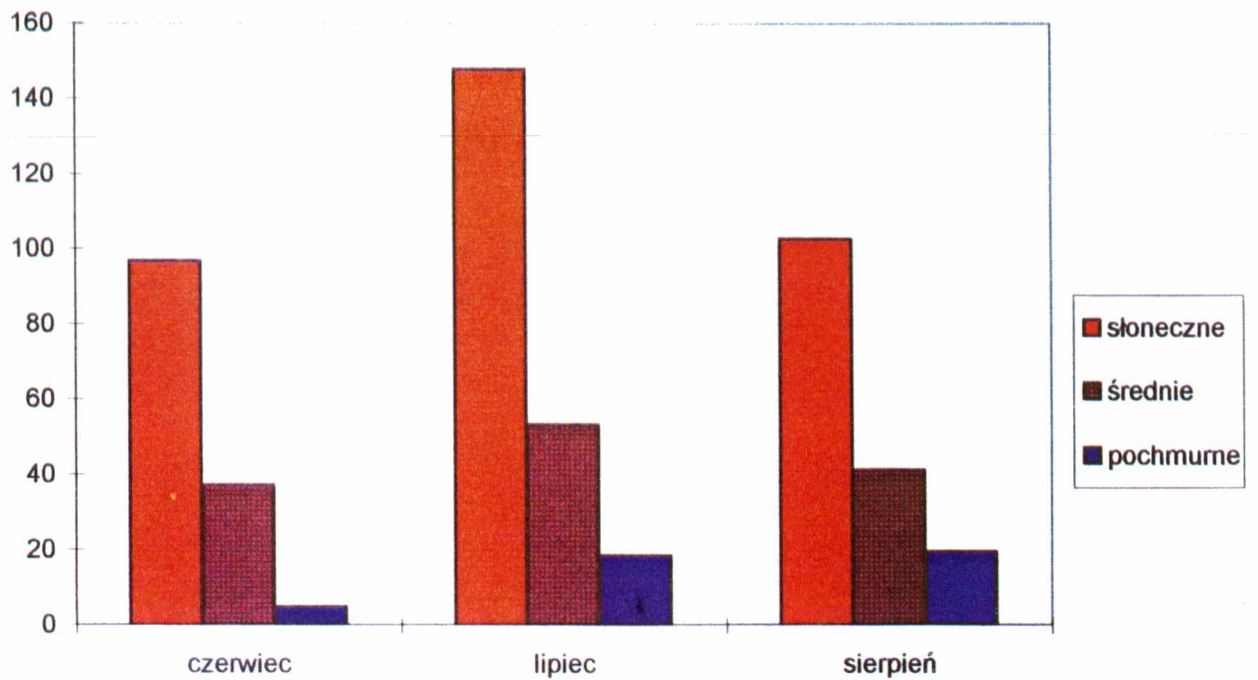
Na rys. 42. przedstawiono schematy układów wentylacyjnych tradycyjnego i z wykorzystaniem BGWCiM.

stopniogodziny ogrzewania

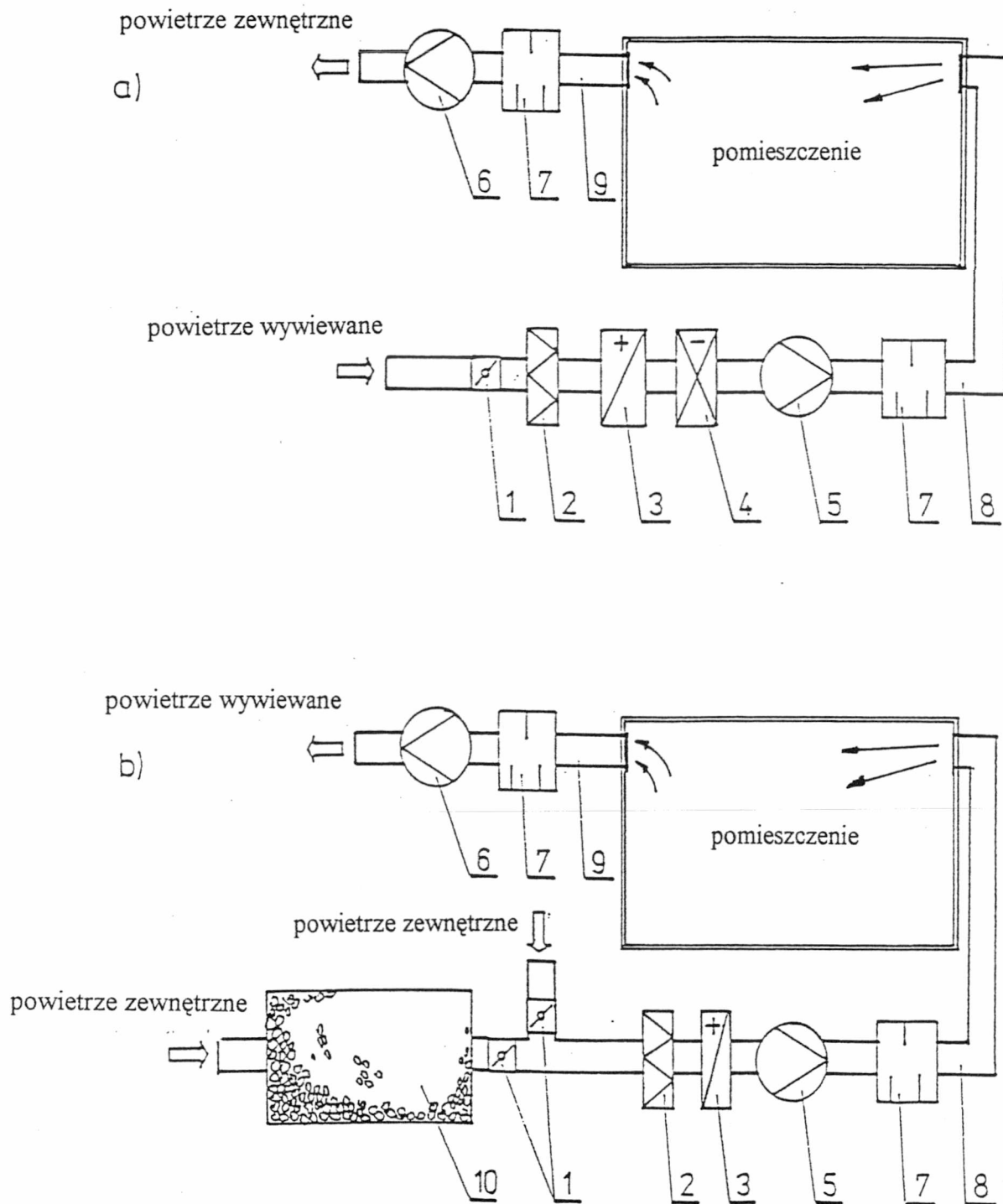


Rys. 40. Różnice ilości stopniogodzin ogrzewania w dniu słonecznym, przeciętnym i pochmurnym.

stopniogodziny chłodzenia



Rys. 41. Różnice stopniogodzin chłodzenia w dniu słonecznym, przeciętnym i pochmurnym.



Rys. 42. Schematy instalacji wentylacyjnych, a) instalacja tradycyjna, b) instalacja z BGWCiM.
 1- przepustnice, 2- filtr powietrza, 3- nagrzewnica, 4- chłodnica, 5- wentylator nawiewny, 6- wentylator wywiewny, 7- tłumik akustyczny, 8- kanały nawiewne, 9- kanały wywiewne, 10- BGWCiM.

OBLICZENIA

Przeprowadzono obliczenia porównawcze kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych dla instalacji wentylacyjnych wyposażonych w bezprzeponowe gruntowe wymienniki i dla instalacji bez tych wymienników.

13. Instalacja z BGWCiM

13.1. Koszty inwestycyjne.

13.1.1. Koszty inwestycyjne wykonania wymiennika gruntowego.

Zestawienie ilości poszczególnych materiałów i robocizny, wynikające z opracowanych kosztorysów przedstawiono w tabeli. Przykładowe kosztorysy dla dwóch największych z analizowanych wymienników o wydajnościach 15000 i 25000 m³/h zamieszczono w załączniku.

14. Ceny jednostkowe materiałów i robocizny potrzebnych do wykonania wymiennika.

Do obliczeń kosztów inwestycyjnych przyjęto następujące ceny poszczególnych elementów:

Materiał	ceny niemieckie	ceny polskie I kw. 1997 r.
żwir ϕ 25 -30 mm	55,0 DM/m ³	31,17 zł/m ³
żwir ϕ 100 mm	35,0 DM/m ³	21,68 zł/m ³
folia igielitowa	0,74 DM/m ²	0,55 zł/m ²
styropian (5 cm)	6,0 DM/m ²	5,89 zł/m ²
elementy kanałowe	90 ÷ 114 DM/szt.	38,6 ÷ 60,2 zł/szt.
zaprawa cementowa	150,0 DM/m ³	100,0 zł/m ³
koparka	176 DM/dzień	230,24 zł/dzień
spycharka	330,0 DM/ dzień	278,16 zł/ dzień
sam skrzyn. do 5 t	350,0 DM/ dzień	194,4 zł/ dzień
dźwig	255,0 DM/ dzień	238,48 zł/ dzień
roboczo-godziny	40,0 DM/r-g	9,45 zł/r-g

Tabela. Zestawienie potrzebnych materiałów i robocizny związanych z wykonaniem BGWCiM.

strumień powietrza, m ³ /h	3000			6000			9000			15000			25000		
typ wymiennika	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<u>materiały:</u>															
1. żwir ϕ 25 -30 mm, m ³	20,0	20,0	21,0	39,6	39,6	42,0	60,9	60,9	62,7	97,5	97,5	102,0	168,9	168,9	173,9
2. żwir ϕ 100 mm, m ³	6,4	6,4	7,0	15,0	15,0	16,0	23,0	23,0	24,0	38,3	38,3	40,0	62,5	62,5	66,5
3. folia igielitowa, m ²	202,3	161,8	255,1	256,0	230,4	419,4	325,6	315,1	614,3	411,58	446,14	858,08	687,12	744,84	1432,5
4.styropian (plyty 5cm), m ²	89,3	71,4	112,6	113,0	101,6	183,0	143,6	139,0	271,1	205,7	223,07	429,04	343,5	372,4	716,2
5.Elem. bet. kanałów, sztuk	14	14	14	20	20	20	24	24	24	47	47	47	78	78	78
6. zaprawa cementowa, m ³	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,7	0,7	0,7	1,8	1,8	1,8	3,1	3,1	3,1
7. ziemia															
7.1 przywóz, m ³	-	-	31,0	-	-	46,0	-	-	62,0	-	-	161,9	-	-	270,4
7.2. wywóz, m ³	30,8	-	-	62,9	-	-	100,3	-	-	177,34	-	-	294,8	-	-
<u>robocizna:</u>															
1. maszynogodziny															
1a. koparka, m - g	7,7	4,4	2,8	14,6	8,4	5,5	23,7	12,7	8,4	35,4	17,7	14,1	59,7	29,6	25,2
1b. spycharka, m - g	1,0	0,54	0,33	1,8	1,0	0,7	2,9	1,6	1,1	3,6	1,7	1,7	6,2	2,1	2,3
1c. sam. cięż. do 5t, m - g	39	18	38	75	35	72	108	52	108	179	86	180	277	146	296
1d. sam. dost. do 1,5t, m - g	0,32	0,4	0,5	0,5	0,5	0,8	0,6	0,6	1,2	1,2	1,2	2,4	2,1	2,1	4,1
1e.dźwig, m - g	4,5	4,5	4,5	6,4	6,4	6,4	7,7	7,7	7,7	15,0	15,0	15,0	24,9	24,9	24,9
2. robocizna, r - g	96	73	180	291	216	350	441	325	505	737	485	858	940	807	1226

14.1. Koszty inwestycyjne BGWCiM.

strumień powietrza m^3/h	koszty wymiennika wg cen niemieckich, DM			koszty wymiennika wg cen polskich, I kw 1997 r, zł		
typ wymiennika	A	B	C	A	B	C
3000	6794	5497	7046	4571	3640	5572
6000	13890	10373	15232	8693	6698	9619
9000	19790	14813	21814	12581	9872	13724
15000	33135	24027	37145	19971	15119	22539
25000	49236	40664	58076	27601	22858	31547

Przyjęto koszty wywozu nadmiaru ziemi (typ A) i przywozu niezbędnej brakującej objętości ziemi (typ C) z dystansem 10 km.

W ilości przewożonego materiału uwzględniono współczynniki zwiększające z uwagi na nieuniknione straty przy transporcie.

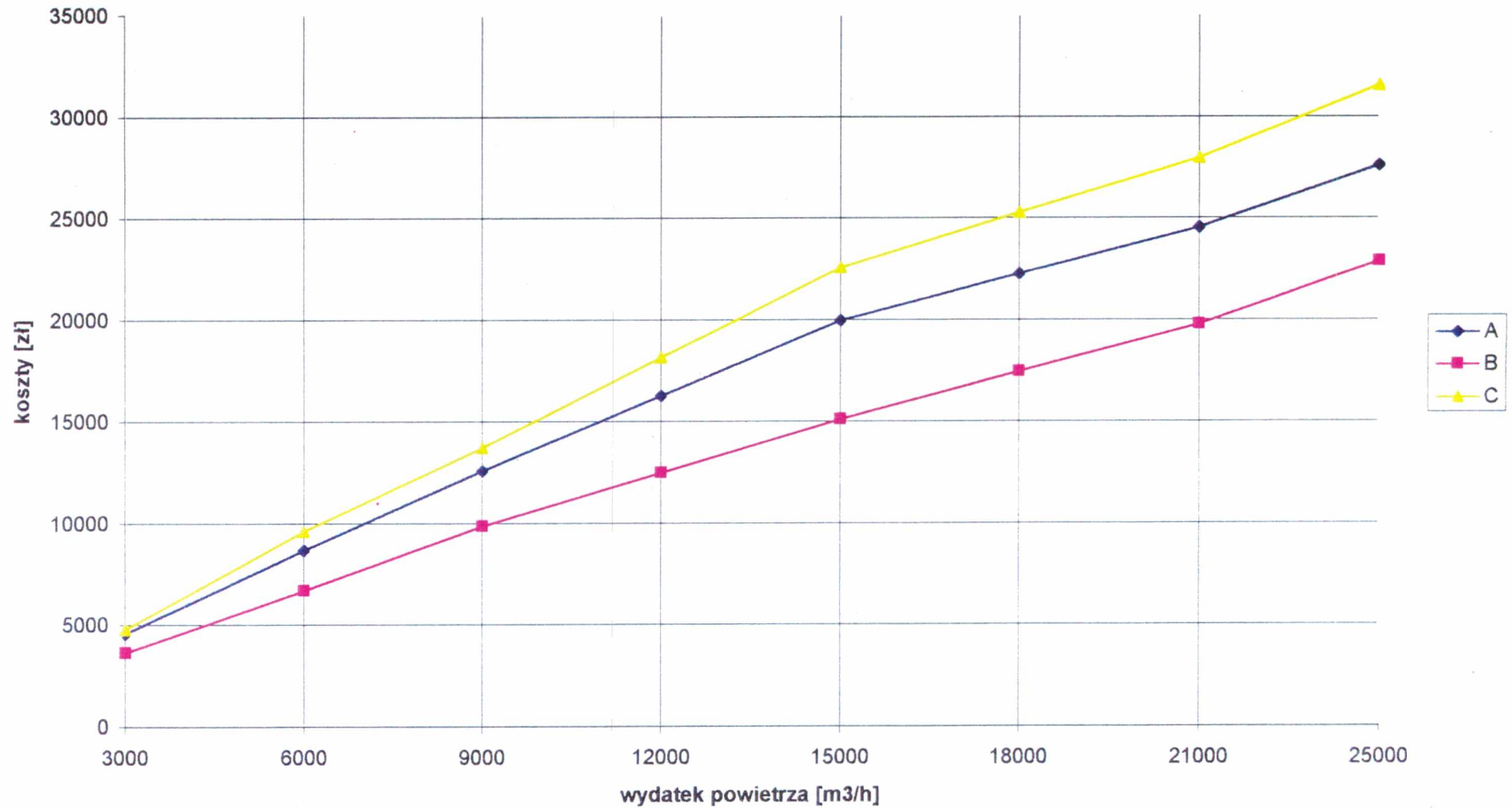
Na rys. 43 przedstawiono zależność kosztów wykonania wymienników w trzech różnych typach od wydatku powietrza wentylacyjnego przepływającego przez wymiennik. Jak widać z wykresu wzrost kosztów jest praktycznie liniowy. Natomiast na rys. 44 pokazano koszty wykonania wymiennika odniesione do $1 \text{ m}^3/\text{h}$ powietrza wentylacyjnego. Koszty maleją wraz ze wzrostem zwiększaniem wydatku powietrza wentylacyjnego, co jest prawidłowe.

14.1.1. Koszty nagrzewnic powietrza.

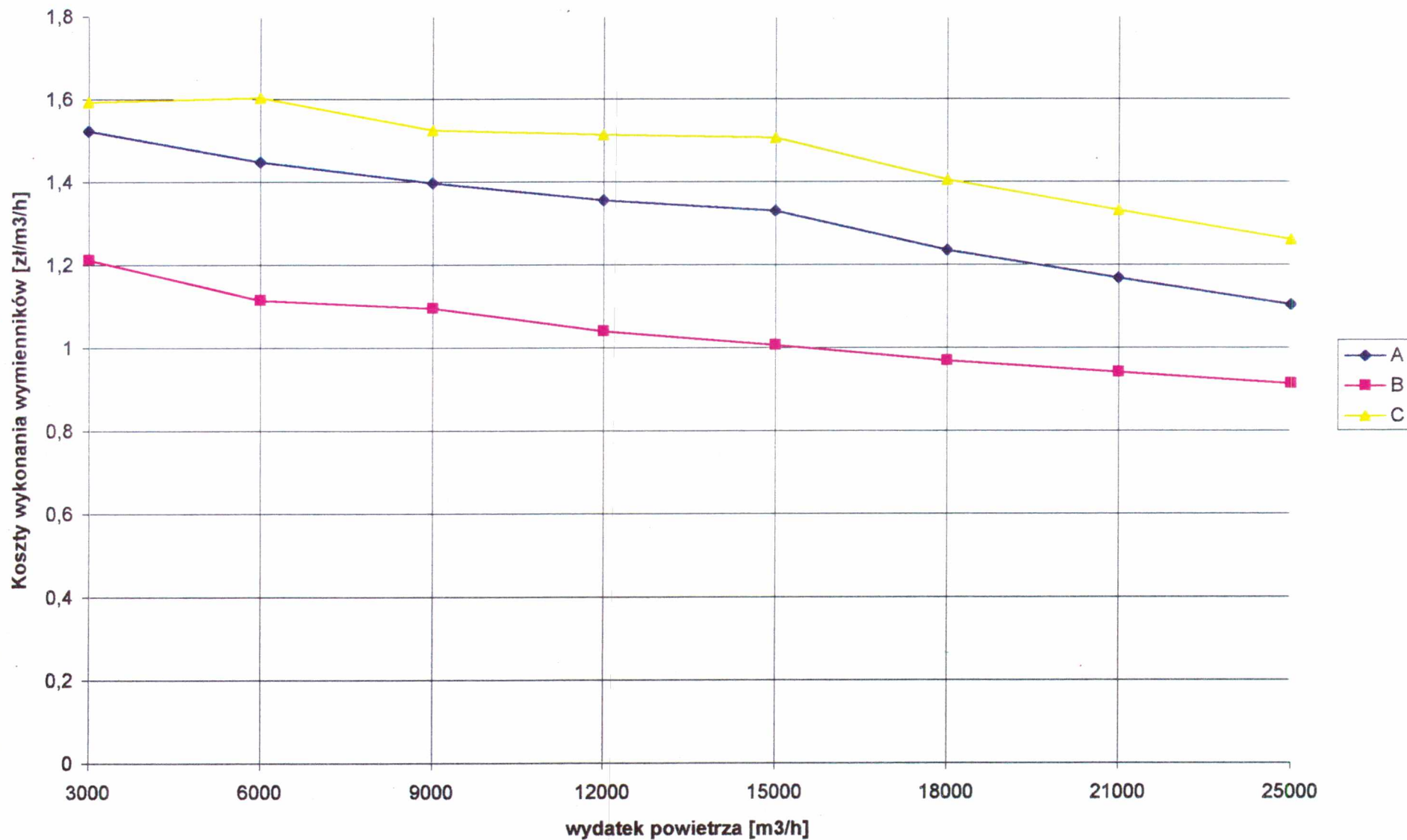
Analiza wykresów pozwala stwierdzić, iż w przypadku zastosowania wymiennika gruntowego potrzebne są mniejsze konwencjonalne wymienniki ciepła (nagrzewnice ramowe). Dla przykładu dobrano i przytoczono ceny pięciu wymienników (produkowanych przez firmę ABB Coiltech) stosowanych w centralach wentylacyjnych:

strumień powietrza w m^3/h	typ wymiennika	moc, kW	cena, zł
3000	QLHT-050-057-01-25-08	21,2	1194
6000	QLHT-065-077-01-20-04	42,4	1675
9000	QLHT-085-097-01-25-06	63,5	1989
15000	QLHM-110-093-01-20-02	101,0	3040
25000	QLHM-140-123-01-20-02	168,0	4257

Koszty wykonania wymienników



Rys. 43. Koszty wykonania wymienników gruntowych.
 typ A- wymiennik całkowicie zagłębiony, typ B- wymiennik częściowo zagłębiony,
 typ C- wymiennik wyniesiony (przy skarpie).



Rys. 44. Koszty wykonania wymienników gruntowych w przeliczeniu na 1 m³ powietrza wentylacyjnego.
 typ A- wymiennik całkowicie zagłębiony, typ B- wymiennik częściowo zagłębiony,
 typ C- wymiennik wyniesiony (przy skarpie).

Dla doboru przyjęto następujące parametry:

$$t'_z = -2^\circ \text{C},$$

$$t_n = 20^\circ \text{C},$$

temp. wody ciepłej $t_1/t_2 = 90/70^\circ \text{C}$.

14.1.2. Koszty przepustnic powietrza.

W instalacjach z BGWCiM należy doliczyć koszty związane z dodatkowymi przepustnicami i dołączonymi do nich siłownikami. Przykładowe koszty związane z zakupem odpowiednich przepustnic wyniosłyby np:

strumień powietrza, m ³ /h	wymiary, mm x mm	ceny, zł
3000	450 x 450	527
6000	650 x 650	604
9000	800 x 800	741
15000	1040x1040	900
25000	1600x1000	1145

14.2. Koszty eksploatacyjne.

14.2.1. Koszty ogrzewania powietrza wentylacyjnego.

- Ilość zużytego ciepła przez nagrzewnice:

dla układu z zastosowaniem wymiennika gruntowego

$$Q_w = G_{LA} \times V \times c \times \rho \times 10^{-6}, \text{GJ} / a$$

$G_{LA} = 54276 - 27885 = 26391$ hK/a- stopniogodziny wentylacji dla wymiennika BGWCiM użytkowanego w godzinach od 8⁰⁰ do 18⁰⁰ (temperatura powietrza nawiewanego= 20 °C)

c- ciepło wł. powietrza, $c = 1,0$ kJ/kgK

ρ - gęstość powietrza, $\rho = 1,2$ kg/m³

$$Q_{wLA} = 26391 \times \frac{5}{7} \times 3000 \times 1,2 \times 10^{-6} = 67,86 \text{ GJ/rok}$$

- Cena jednostkowa energii cieplnej= 13,96 zł/ GJ, dodatkowo opłata stała wynosi 181,4098 zł/dzień za 1MW mocy zamówionej.

- Roczne koszty ciepła dla wentylacji:

$$K_{WLA} = 67,86 \times 13,96 = 947 \text{ zł/rok}$$

$$K_{WLA_s} = 22 \times 365 \times 181,4098 \times 10^{-3} = 1456 \text{ zł/rok}$$

Podobnie wyglądają wyliczenia dla pozostałych strumieni powietrza 6000 - 25000 m³/h. Wyniki podano w poniższej tabeli:

strumień powietrza m ³ /h	Q _{WL} , GJ/rok	K _{WLA_s} , zł	K _{WLA} , zł
3000	67,86	1456	947
6000	135,72	2841	1895
9000	203,58	4237	2842
15000	339,31	6687	4737
25000	556,52	11124	7894

15. Instalacja bez BGWCiM.

15.1. Koszty inwestycyjne.

15.1.1. Koszty nagrzewnic powietrza.

Dobrano pięć typowych nagrzewnic powietrza produkcji firmy ABB Coiltech:

strumień powietrza, m ³ /h	typ wymiennika	moc, kW	cena, zł
3000	QLHT-050-057-02-40-16	34,3	1379
6000	QLHT-065-077-03-60-16	68,6	2049
9000	QLHT-085-097-02-40-08	103,0	2348
15000	QLHM-110-093-02-25-02	192	3636
25000	QLHM-140-123-02-30-02	319	5058

Dla doboru wymiennika przyjęto następujące parametry wyjściowe:

t_z= w warunkach Wrocławia -18 °C

t_n= 20 °C.

temperatura ciepłej wody t₁/t₂= 90/70 ° C.

15.1.2. Koszty chłodnic powietrza.

Dobrano pięć chłodnic powietrza firmy ABB Coiltech:

strumień powietrza m ³ /h	typ wymiennika	moc, kW	cena wymiennika z odkraplaczem, zł
3000	QLCT-050-057-03-20-16-f	18,5	2337
6000	QLCT-065-077-04-25-18-f	37,9	3043
9000	QLCM-080-097-04-20-14-f	58,3	3545
15000	QLEM-110-123-03-25-06-f	101	9396
25000	QLEM-140-153-03-25-06-f	171	13010

Przyjęto następujące parametry wyjściowe:

$t_z = +32\text{ }^{\circ}\text{C}$, wilgotność względna $\phi_z = 40\text{ }\%$,

$t_n = +18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Medium chłodnicze Freon R22.

15.1.3. Koszty agregatów chłodniczych.

Dobrano odpowiadające wcześniej wymienionym chłodnicą powietrza agregaty chłodnicze na przykład firmy Alfaconorth:

strumień powietrza m ³ /h	wydajność chłodnicza, kW	cena, zł
3000	21,0	13566
6000	42,0	24225
9000	62,0	47481
15000	114	128250
25000	193	217124

15.2. Koszty eksploatacyjne.

15.2.1. Ciepło do nagrzewnic powietrza.

- Strumień ciepła

$$Q_w = G_L \times V \times c \times \rho \times 10^{-6}, \text{ GJ/a}$$

$$G_L = 68169 - 38325 = 29844 \text{ hK/a- stopniogodziny od } 8^{\circ}\text{ do } 18^{\circ}$$

(temperatura powietrza nawiewanego= 20 °C)

$$G_L = 29844 \times \frac{5}{7} \times 3000 \times 1,2 \times 10^{-6} = 76,74 \text{ GJ/rok}$$

- Cena jednostkowa energii cieplnej= 13,96 zł/ GJ, dodatkowo opłata stała wynosi 181,4098 zł/dzień za 1MW mocy zamówionej.
- Roczne koszty ciepła dla wentylacji:

$$K_{WL} = 76,74 \times 13,96 = 1071 \text{ zł/rok}$$

$$K_{WLAs} = 35 \times 365 \times 181,4098 \times 10^{-3} = 2318 \text{ zł/rok}$$

Podobnie wyglądają wyliczenia dla pozostałych strumieni powietrza 6000 - 25000 m³/h. Wyniki podano w poniższej tabeli:

strumień powietrza, m ³ /h	Q _w , GJ/rok	K _{ws} , zł	K _w , zł
3000	76,74	2318	1071
6000	153,48	4437	2142
9000	230,22	6821	3214
15000	383,70	12715	5356
25000	639,50	21126	8927

15.2.2. Koszty energii chłodniczej.

- energia dla chłodnicy suchej:

$$Q_k = G_k \times V \times c \times \rho \times 10^{-6}, \text{ GJ/a}$$

$$G_k = 2673 - 13 = 2660 \text{ hK/a- stopniogodziny chłodzenia wentylacji od } 8^{\circ}\text{ do } 18^{\circ}\text{ (temperatura nawiewu= } 18^{\circ}\text{C)}$$

$$Q_k = 2660 \times \frac{5}{7} \times 3000 \times 1,2 \times 10^{-6} = 6,84 \text{ GJ/rok}$$

- cena energii chłodniczej= 41,88 zł/GJ
- roczne koszty chłodzenia w wentylacji

$$K_w = 6,84 \times 41,88 = 286 \text{ zł/rok}$$

strumień powietrza, m ³ /h	Q _k , GJ/rok	K _w , zł
3000	6,84	286
6000	13,68	572
9000	20,52	859
15000	34,20	1432
25000	57,00	2387

- energia chłodnicza przy uwzględnieniu wykraplania się wilgoci na wymienniku

$$Q_{tr} = G_{tr} \times f \times r \times V \times \rho \times \tau_k, \text{ GJ/a}$$

G_{tr}= 2900 h/a g/kg- gramogodziny osuszania - w zależności od wilgotności względnej powietrza przy pracy 24-h przyjęto (x= 8 g/kg)

τ_k= 1,1 - wsp. korekcyjny dla entalpii dla czasu pracy (od 8^{oo} do 18^{oo})

f- wsp. korekcyjny czasu pracy całkowitej liczby godzin w roku, f= 24

$$Q_{tr} = 2900 \times \frac{5}{7} \times \frac{10}{24} \times 2,5 \times 3000 \times 1,2 \times 1,1 \times 10^{-6} = 8,5 \text{ GJ/rok}$$

- roczne koszty energii chłodniczej na osuszania chłodnic:

$$K_{tr} = 8,5 \times 41,88 = 356 \text{ zł/rok}$$

strumień powietrza m ³ /h	Q _{tr} , GJ/rok	K _{tr} , zł
3000	8,5	356
6000	17,0	712
9000	25,5	1068
15000	42,5	1780
25000	70,8	2966

16. Porównanie kosztów instalacji z zastosowaniem BGWCiM oraz tradycyjnej w warunkach polskich.

W tabelach zamieszczono zestawienie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wykonania instalacji z gruntowym wymiennikiem i odpowiadających im instalacji bez zastosowania BGWCiM. Porównano jedynie elementy występujące w instalacjach wentylacyjnych na które ma wpływ zastosowanie wymienników gruntowych.

- Zestawienie kosztów instalacji tradycyjnej bez BGWCiM (jedynie wybrane elementy instalacji)

	Strumień powietrza w m ³ /h	3000	6000	9000	15000	25000
I	Koszty inwestycyjne					
	1. Nagrzewnica, zł	1379	2049	2348	3636	5058
	2. Chłodnica, zł	2337	3043	3545	9396	13010
	4. Agregat chłodniczy, zł	13566	24225	47481	128250	217124
	Suma kosztów inwestycyjnych	17282	29317	53374	141282	235192
II	Koszty eksploatacyjne					
	5. Koszty ciepła, zł	3389	6579	10035	18071	30053
	6. Koszty chłodu, zł	642	1284	1927	3212	5353
	Suma kosztów energii, zł	4031	7863	11962	21283	35406
	7. Nadzór i obsługa 2% z poz. 1÷4, zł	346	587	1067	2825	4704
	8. Konserwacja 2% z poz. 1÷4	346	587	1067	2825	4704
	9. Koszty obsł. kapitału 20 %, n=15lat, a= 21 %	3629	6156	11208	29669	49390
	Całkowite koszty eksploatacyjne, zł	8352	15193	25304	56557	94204

- Zestawienie kosztów dla instalacji z BGWCiM (jedynie wybrane elementy różniące obie instalacje)

	strumień powietrza m ³ /h	3000			6000			9000			15000			25000		
	typ wymiennika	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
I	Koszty inwestycyjne															
	1. BGWCiM, zł	4571	3640	5572	8693	6698	9619	12581	9872	13724	19971	15119	22593	27601	22858	31547
	2. Nagrzewnice, zł	1194	1194	1194	1675	1675	1675	1989	1989	1989	3040	3040	3040	4257	4257	4257
	3. Przepustnice, zł	527	527	527	604	604	604	741	741	741	900	900	900	1145	1145	1145
	Suma kosztów inwestyc.	6292	5361	7293	10972	8977	11898	15311	12602	16454	23911	19059	26533	33003	28260	36949
II	Koszty eksploatacyjne															
	4. Koszty ciepła, zł	2403	2403	2403	4736	4736	4736	7079	7079	7079	11424	11424	11424	19018	19018	19018
	5. Nadzór i obsługa 2% z poz. 2 i 3, zł	34	34	34	46	46	46	55	55	55	79	79	79	108	108	108
	6. Konserwacja 2% z Pos. 2 i 3, zł	34	34	34	46	46	46	55	55	55	79	79	79	108	108	108
	7. Koszty obsługi kapitału 20 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7a. dla BGWCiM n = 20 lat, a= 20 %, zł	914	728	1114	1738	1339	1923	2516	1974	2744	3994	3023	4518	5520	4571	6309
	7b dla poz. 2 i 3 n=15 lat, a= 21 %, zł	361	361	361	478	478	478	573	573	573	827	827	827	1134	1134	1134
	Całkowite koszty eksp., zł	3746	3560	3946	7044	6645	7229	10278	9736	10506	16403	15432	16927	25888	24939	26677

17. Obliczenia dla warunków niemieckich.

Podobną analizę przeprowadzono dla warunków niemieckich. Uwzględniono tu inną strukturę cen materiałów i robocizny panującą w Niemczech, a także nieco odmienne parametry powietrza zewnętrznego.

Koszty inwestycyjne związane z wykonaniem wymienników przedstawiono w tabeli w pkt-cie 14.1.

17.1. Koszty eksploatacyjne.

17.1.1. Koszty ogrzewania powietrza wentylacyjnego.

- Ilość ciepła do nagrzewnic:

- dla układu z zastosowaniem wymiennika gruntowego

$$G_{LA} = 57534 - 29202 = 28332 \text{ hK/a- stopniogodziny wentylacji dla wymiennika BGWCiM od } 8^{\circ\circ} \text{ do } 18^{\circ\circ} \text{ (temperatura powietrza nawiewanego } = 20^{\circ}\text{C)}$$

Do obliczeń przyjęto cenę jednostkową energii cieplnej równą 50 DM/MWh.

Roczne koszty ciepła dla wentylacji w instalacji z BGWCiM wynoszą dla strumieni powietrza 3000 - 25000 m³/h jak podano w poniższej tabeli:

strumień powietrza m ³ /h	Q _{WL} , MWh/a	K _{WLA} , DM
3000	20,81	1040
6000	41,63	2081
9000	62,44	3122
15000	104,07	5203
25000	173,46	8673

- dla układu bez wymiennika gruntowego

$$G_L = 71915 - 37679 = 34236 \text{ hK/a- stopniogodziny od } 8^{\circ\circ} \text{ do } 18^{\circ\circ} \text{ (temperatura powietrza nawiewanego } = 20^{\circ}\text{C)}$$

Roczne koszty ciepła dla wentylacji w instalacji bez BGWCiM wynoszą dla strumieni powietrza 3000 - 25000 m³/h jak podano w poniższej tabeli:

strumień powietrza, m ³ /h	Q _w , MWh/a	K _w , DM
3000	25,1	1260
6000	50,43	2521
9000	75,65	3782
15000	126,09	6304
25000	210,15	10507

17.1.2. Koszty energii chłodniczej.

Do obliczeń przyjęto cenę jednostkową energii chłodniczej równą 85 DM/MWh.

Roczne koszty chłodu dla wentylacji w instalacji bez BGWCiM wynoszą dla strumieni powietrza 3000 - 25000 m³/h jak podano w poniższej tabeli:

strumień powietrza, m ³ /h	Q _k , MWh/a	K _w , DM
3000	4,38	372
6000	8,76	745
9000	13,14	1117
15000	21,91	1862
25000	36,51	3101

17.2. Porównanie kosztów instalacji z zastosowaniem BGWCiM oraz tradycyjnej w warunkach niemieckich.

W warunkach niemieckich należy przyjąć inne oprocentowanie przy wyliczeniach kosztów obsługi kapitału. W obliczeniach założono oprocentowanie kredytu w wysokości 8 % rocznie. Pozostałe założenia odpowiadają tym które przyjęto dla warunków polskich.

- Zestawienie kosztów dla instalacji z BGWCiM w warunkach niemieckich (jedynie wybrane elementy różniące obie instalacje)

	strumień powietrza m ³ /h	3000			6000			9000			15000			25000		
	typ wymiennika	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
I	Koszty inwestycyjne															
	1. BGWCiM, DM	6794	5497	8726	13890	10373	15232	19790	14813	21814	33135	24027	37145	49236	40664	58076
	2.Nagrzewnice, DM	419	419	419	588	588	588	698	698	698	1067	1067	1067	1494	1494	1494
	3.Przepustnice, DM	370	370	370	424	424	424	520	520	520	632	632	632	804	804	804
	Suma kosztów inwest.	7583	6286	9515	14902	11385	16244	21008	16031	23032	34834	25726	38844	51534	42962	60374
II	Koszty eksploatacyjne															
	4. Koszty ciepła, DM	1040	1040	1040	2081	2081	2081	3122	3122	3122	5203	5203	5203	8673	8673	8673
	5. Nadzór i obsługa 2% z poz. 2 i 3, DM	16	16	16	20	20	20	24	24	24	34	34	34	46	46	46
	6. Konserwacja 2% z Pos. 2 i 3, DM	16	16	16	20	20	20	24	24	24	34	34	34	46	46	46
	7.Koszty obsługi kapitału 8 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7a. dla BGWCiM n = 20 lat, a= 10,19%, DM	692	560	889	1415	1052	1552	2016	1509	2222	3376	2448	3785	5017	4143	5917
	7.b dla poz. 2 i 3 n=15 lat, a= 11,68, DM	129	129	129	163	163	163	194	194	194	185	185	185	268	268	268
	Calkowite koszty eksp., DM	1893	1761	2090	3699	4756	3836	5380	4873	5586	8832	7904	9241	14050	13176	14950

- Zestawienie kosztów instalacji tradycyjnej bez BGWCiM (jedynie wybrane elementy instalacji) w DM.

	Strumień powietrza w m ³ /h	3000	6000	9000	15000	25000
I	Koszty inwestycyjne					
	1. Nagrzewnica	484	719	824	1276	1775
	2. Chłodnica	820	1068	1244	3297	4565
	4. Agregat chłodniczy	4760	8500	16600	45000	76184
	Suma kosztów inwestycyjnych	6064	10287	18668	49573	82524
II	Koszty eksploatacyjne					
	5. Koszty ciepła	1260	2521	3782	6304	10507
	6. Koszty chłodu	372	745	1117	1862	3101
	7. Nadzór i obsługa 2% z poz. 1÷4	121	206	373	991	1650
	8. Konserwacja 2% z poz. 1÷4	121	206	373	991	1650
	9. Koszty obsł. kapitału 8 % , n=15 lat, a= 11,68%	708	1202	2180	5790	9638
	Całkowite koszty eksploatacyjne	2582	4880	7825	15938	26546

18. Analiza ekonomiczna.

Zdając sobie sprawę z nie zawsze dostatecznie dokładnych wyliczeń, celem przedstawienia pełniejszego i bardziej wiarygodnego obrazu korzyści wynikających ze stosowania BGW Ci Masy, przeprowadzono analizę nie tylko dla warunków polskich ale i niemieckich.

Wzięto bowiem pod uwagę fakt, iż ceny i koszty robocizny, aczkolwiek obecnie dość różne, to jednakże przy naszym szybkim zbliżaniu się do Krajów Wspólnoty Europejskiej, będą grawitowały do tych wspólnoeuropejskich. Przedstawienie zatem wyników analizy w warunkach znacznie wyższych kosztów i cen niemieckich, daje spojrzenie na rysujące się tendencje i uwiarygadnia celowość oraz sens stosowania tych rozwiązań w kraju nie tylko obecnie, ale także w przyszłości.

18.1. Warunki polskie.

Przy podejmowaniu decyzji o wyborze rodzaju inwestycji przeprowadza się zazwyczaj analizę ekonomiczną możliwych rozwiązań. Rachunek ekonomiczny wykazuje które z możliwych rozwiązań jest najbardziej opłacalne łącznie pod względem inwestycyjnym i eksploatacyjnym.

W przypadku porównania opłacalności stosowania wymienników gruntowych okazuje się, iż koszty inwestycyjne związane z wykonaniem BGW Ci M i zastąpieniem nim instalacji chłodniczej dają oszczędności inwestycyjne co najmniej rzędu 50 % (patrz poniższa tabela)

Strumień powietrza w m ³ /h	3000			6000			9000		
Typ wymiennika	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Koszt instalacji bez BGW Ci M zł	17282			29317			53374		
Koszt instalacji z BGW Ci M zł	6292	5361	7293	10972	8977	11898	15311	12602	16454
Stosunek kosztów inwest. %	36	31	42	37	30	40	28	23	30
Oszczędności eksploatacyjne, %	56	58	53	54	57	53	60	62	59

Strumień powietrza w m ³ /h	15000			25000		
Typ wymiennika	A	B	C	A	B	C
Koszt instalacji bez BGW Ci M zł	141282			235192		
Koszt instalacji z BGW Ci M zł	23911	19059	26533	33003	28260	36949
Stosunek kosztów inwest. %	16	13	18	14	12	15
Oszczędności eksploatacyjne, %	71	73	71	73	74	72

Ponadto w wyniku stosowania BGWCiM uzyskiwane są oszczędności energetyczne, dzięki wstępnemu ogrzaniu powietrza w okresie zimnym i ochłodzeniu powietrza w okresie ciepłym.

Przeprowadzone obliczenia wykazują, że dla instalacji pracującej przez pięć dni w tygodniu i 10 godzin na dobę, oszczędności eksploatacyjne przy ogrzewaniu powietrza dochodzą do 15 %. Natomiast oszczędności wynikające z mniejszej opłaty stałej stanowią dodatkowe oszczędności rzędu 40 % całkowitych kosztów ogrzewania. W sumie daje to, w sezonie grzewczym, oszczędności nie mniejsze niż 30% i dochodzące do 40 % przy większych instalacjach. Warto zauważyć, iż dla instalacji pracującej bez przerw (24 godziny na dobę i siedem dni w tygodniu) oszczędności eksploatacyjne spowodowane mniejszą ilością stopniogodzin w układzie współpracującym z BGWCiM dochodzą do 30 % całkowitego zapotrzebowania ciepła.

Wymienniki gruntowe spełniają również funkcję ochładzania powietrza. Jak wykazują przeprowadzone badania ilość chłodu uzyskiwana ze źróź kamiennych jest wystarczająca na potrzeby obiektów, w których dopuszczalne jest krótkookresowe niedotrzymywanie projektowanych parametrów powietrza. Obiekty takie jak sklepy, sale zebrań, kina, teatry itp mogą być zaopatrywane w chłód uzyskiwany ze źróź kamiennych bez potrzeby stosowania układu chłodniczego.

18.2. Warunki niemieckie.

18.2.1. Okres zwrotu kapitału.

Okres zwrotu kapitału n zdefiniowano jako stosunek nakładów inwestycyjnych (J) do rocznej oszczędności e (zysków energii):

$$n = J/e$$

J - inwestycja,

e - roczne oszczędności.

W przypadku porównywania dwóch alternatywnych rozwiązań J i e oznaczają: różnice pomiędzy kosztami inwestycyjnymi oraz kosztami eksploatacyjnymi (m. in. wartość oszczędności energii) w obu analizowanych rozwiązaniach.

Strumień powietrza w m ³ /h	3000			6000			9000		
Typ wymiennika	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Wartość inwestycji DM J	1519	222	3451	4615	1098	5957	2340	-2637	4364
Roczne oszczędności e	689	821	492	1181	1539	1044	2445	2952	2239
Okres zwrotu kapitału n	2,20	0,27	7,01	3,90	0,71	5,70	0,95	-	1,94
Stosunek kosztów inwest. %	125	103	156	144	110	157	112	85	123
Oszczędności eksploatacyjne, %	27	32	20	25	32	22	32	38	29

Strumień powietrza w m ³ /h	15000			25000		
Typ wymiennika	A	B	C	A	B	C
Wartość inwestycji DM J	-14739	-23847	-10729	-30990	-39562	-22150
Roczne oszczędności e	7106	8034	6697	12496	13370	11596
Okres zwrotu kapitału n	-	-	-	-	-	-
Stosunek kosztów inwest. %	0,70	0,51	0,78	0,62	0,52	0,73
Oszczędności eksploatacyjne, %	45	51	43	48	51	44

18.2.2. Czas trwania amortyzacji.

Można powiązać roczne oszczędności ze wskaźnikiem oprocentowania kapitału i wzrostem cen energii i obliczyć w ten sposób czas trwania amortyzacji inwestycji η_A .

Przy metodzie poprzedniej (okres zwrotu kapitału) założono, iż ceny, zarobki i pozostałe koszty są stałe. Szczególny wpływ na opłacalność inwestycji ma wzrost ceny energii powodujący motywację do stosowania rozwiązań coraz bardziej oszczędnych energetycznie. Z uwzględnieniem wzrostu cen energii, czas trwania amortyzacji można obliczyć z zależności:

$$\eta_A = \frac{\lg\left(1 + \frac{J}{e}(q_2 - q_1)\right)}{\lg \frac{q_2}{q_1}}$$

gdzie:

q_1 - wskaźnik oprocentowania - $1 + p$ przyjęto:

$q_1 = 1,2$ dla warunków polskich,

$q_1 = 1,08$ dla warunków niemieckich.

p - oprocentowanie,

q_2 - wskaźnik wzrostu cen - $1 +$ procentowy roczny wskaźnik wzrostu cen,

J/e - wskaźnik zwrotu kapitału

Okres amortyzacji η_A

przy 8 % oprocentowania kapitału i 5% wzroście cen energii

strumień powietrza w m ³ /h	3000			6000			9000		
typ wymiennika	A	B	C	A	B	C	A	B	C
przy $q_1 = 1,08$ i $q_2 = 1,05$	2,42	0,28	8,38	4,41	0,76	6,65	1,02	-	2,12

19. Koszty ochrony środowiska.

Każda działalność człowieka związana z zużyciem energii konwencjonalnej ma wpływ na otaczające nas środowisko naturalne. W niektórych rejonach natężenie emisji produktów spalania paliw osiągnęło stan nasycenia, a często znacznie przekroczyło możliwości wchłonięcia ich przez przyrodę. W wielu krajach emisja szkodliwych związków stała się jedną z barier dalszego rozwoju.

Ilości zużywanego paliwa dają się przeliczyć na ilości poszczególnych zanieczyszczeń takich jak CO₂, NO_x, SO₂, pyły i zanieczyszczenia stałe.

Emisja właściwa paliw w kg/MWh wygląda orientacyjnie jak w przytoczonej Tabeli 1 [42]

Paliwo	Emisja w kg/MWh				
	SO ₂	Nox	CO	pył	związki organiczne
Węgiel kamienny	1,80	0,36	23	0,90	0,90
Brykiety z węgla kamiennego	1,80	0,18	36	0,90	1,80
Koks	1,80	0,36	25	1,36	0,07
Brykiety z węgla brunatnego	0,83	0,05	25	1,26	0,54
Olej opałowy lekki	0,47	0,18	0,18	0	0,04
Olej opałowy ciężki	1,76	0,04	0,04	0,11	0,03
Gaz	0,01	0,22	0,22	0	0,01

Tabela uwidacznia jednoznacznie, że najbardziej korzystnym dla środowiska jest gaz, gdy pominąć źródła energii naturalnej takie jak energię wodną, energię słoneczną, geotermalną, energię wiatru, pływów wody czy też energię z niewielkiej głębokości gruntu.

Bardzo niekorzystną, w kraju, strukturę zużycia paliw do produkcji energii w relacji do struktury ogólnoswiatowej przedstawiono na początku pracy (rys. 2).

Do głównych przyczyn tak niekorzystnej struktury spożycia paliw w naszym kraju należy zaliczyć:

- surowcowy charakter gospodarki,
- nieefektywne i przestarzałe technologie produkcji,
- brak bodźców ekonomicznych do oszczędzania energii, co trwało przez wiele dziesiętnych lat po II wojnie światowej,
- izolacja ekonomiczna kraju (przez wiele lat) skłaniająca do korzystania z własnych surowców energetycznych jakimi dla nas są węgiel kamienny i węgiel brunatny,
- niska świadomość ekologiczna zarówno społeczeństwa jak i decydentów na różnych szczeblach zarządzania gospodarką.
- Jak wskazują raporty Banku Światowego, Polska powinna zainwestować na rzecz ochrony środowiska 40-60 mld USD, aby nadrobić wieloletnie zaniedbania i zniszczenia. Zaniedbania w dziedzinie ekologii w każdym roku kosztują nas ok. 10 % PKB. W krajach rozwiniętych stanowi to już tylko ok. 1,5 %. Jak wykazują statystyki, stan środowiska nie pozostaje bez wpływu na stan zdrowia społeczeństwa. Brak działań i istotnej poprawy w tej dziedzinie, także w opracowaniu prawodawstwa zgodnego z przepisami Unii, może być jednym z powodów opóźnienia wejścia naszego kraju do struktur Wspólnoty Europejskiej.

Dodatkowym powodem skłaniającym ludzkość do działań na rzecz oszczędzania energii jest przewidywalny czas wyczerpania rozpoznanych złóż surowców energetycznych na świecie. Według najnowszych współczesnych analiz (patrz rys. 1 - tabela dolna) przewiduje się, iż węgla wystarczy na pewno na 184 lata, ropy na 45 lat, gazu na ok. 66 lat, zaś uranu na 88 lat, a w przypadku używania go w reaktorach na lekką wodę z zastosowaniem regeneracji - aż na 5280 lat. Nowe lecz nie w pełni jeszcze potwierdzone odkrycia wydłużyć mogą znacznie okresy użytkowania zasobów paliw kopalnych. Niemniej jednak zdawać trzeba sobie sprawę z tego iż ilości ich są ograniczone.

Wydaje się że dziś nadszedł czas, gdy należy zwracać powszechniejszą uwagę na skutki ekonomiczne powstających zanieczyszczeń w wyniku spalania konwencjonalnych surowców energetycznych. Konieczne staje się wycenianie szkód ekologicznych i kosztów przywrócenia środowiska do poprzedniego stanu.

Jednym ze sposobów jest odniesienie strat ekonomicznych do jednostki energii zawartej w paliwie. Wielkość ich zależy między innymi od rodzaju paliwa i sposobu jego spalania. Globalna wielkość zależy zaś od struktury spożycia różnego rodzaju paliw przez poszczególne działy gospodarki.

Producentów zanieczyszczeń podzielono na tzw. zagregowanych użytkowników. Zakłada się, że każdy z użytkowników stosuje jakąś uśrednioną metodę spalania. Całkowite straty gospodarcze w wyniku spalania surowców dzieli się na części przypadające na emisje poszczególnych substancji szkodliwych. Wartości strat ekologiczno- ekonomicznych dla technologii przypisanej poszczególnym zagregatyzowanym użytkownikom wyznaczone są z równania:

$$S_t = \sum_{n=1}^6 B \times e_n \times s_n$$

gdzie:

t- oznacza poszczególnych użytkowników (elektro-energetyka, metalurgia, sektor komunalny, transport, inne przemysły, inni użytkownicy),

n-oznacza poszczególne substancje szkodliwe (SO₂, CO, NO_x, pyły, odpady stałe, ścieki),

S_t- straty ekologiczno- ekonomiczne dla danego użytkownika i rodzaju paliwa zł,

B- ilość zużywanego bezpośrednio rodzaju paliwa TJ,

e_n- współczynnik emisji substancji szkodliwej, jednostka emisji/jednostkę energii.,

s_n- wsp. strat ekonomiczno- ekologicznych zł/jed. emisji.

Według danych zawartych w literaturze [27] straty ekonomiczne szacowane są w przedziale od 6 do 17 % dochodu narodowego.

Na podstawie danych [39, 28] i wartości współczynników strat ekologiczno- ekonomicznych wyznaczono szacunkowy koszt usunięcia powstałych strat na każdą wytworzoną MWh energii, przez poszczególnych użytkowników. Wyniki podano w tabeli.

Użytkownicy	Elektro-energetyka	Metalurgia	Inne przemysły	Sektor komunalno-bytowy	Transport	Inni użytkownicy
Koszt usunięcia strat MWh wytworzonej energii, zł	34,76	29,96	28,35	46,0	36,16	31,27

Przedstawione wyżej koszty winny być włączone do analizy ekonomicznej rozwiązań systemów grzewczych i wentylacyjnych po stronie kosztów eksploatacyjnych.

W przykładzie obliczenia kosztów ochrony środowiska przyjęto obiekt użytkowany w sektorze komunalno- bytowym. Dla analizowanych powyżej instalacji koszty związane z ochroną środowiska wyniosłyby wówczas odpowiednio:

strumień powietrza w m ³ /h	3000	6000	9000	15000	25000
roczne oszczędności energii MWh	19,38	38,77	58,08	96,94	159,00
Koszty ochrony środowiska zł	891,48	1783,42	2671,68	4459,24	7314,00
Wzrost kosztów eksploatacyjnych, %	10,7	11,7	10,5	7,9	7,7

20. Przykład obliczeniowy dla wentylacji teatru.

Poniżej przedstawiono analizę dotyczącą obiektu wykorzystywanego w krótszych okresach i innych godzinach w ciągu doby. Takim obiektem jest teatr. Założono czas pracy w godzinach od 16⁰⁰ do 23⁰⁰, i użytkowaniu go przez cztery dni w tygodniu.

Koszty inwestycyjne przyjmowano podobne jak wcześniej. Inaczej należy rozpatrywać koszty eksploatacyjne w związku z innym czasem pracy instalacji (krótszym i w innych godzinach) i co za tym idzie, inną liczbą stopniogodzin chłodzenia i ogrzewania. Nie bez znaczenia są również inne zyski ciepła związane m.in. z odmiennymi temperaturami powietrza zewnętrznego panującymi podczas działania wentylacji, innym natężeniem promieniowania słonecznego, a także akumulacją budynku.

Jak można się spodziewać, ze względu na krótszy czas użytkowania instalacji, zyski wynikające z oszczędności eksploatacyjnych będą odpowiednio niższe. Jednakże nadal wyraźne są oszczędności wynikające z mniejszych mocy zainstalowanych wymienników konwencjonalnych i przez to mniejszej opłaty stałej. W związku z tym ostateczne wyniki nie odbiegają od dłuższej pracującej instalacji.

20.1. Całkowite koszty instalacji bez BGWCiM

- Całkowite koszty instalacji bez BGWCiM

	Strumień powietrza, m ³ /h	3000	6000	9000	15000	25000
I	Koszty inwestycyjne					
	1. Nagrzewnica	1379	2049	2348	3636	5058
	2. Chłodnica	2337	3043	3545	9396	13010
	3. Agregat chłodniczy	13566	24225	47481	128250	217124
	Suma kosztów inwestycyjnych	17282	29317	53374	141282	235192
II	Koszty eksploatacyjne					
	5. Koszty ciepła	3080	5962	9108	16527	27480
	6. Koszty chłodu	255	512	638	1281	2137
	7. Nadzór i obsługa 2% z poz. 1÷4, zł	346	587	1067	2825	4704
	8. Konserwacja 2% z poz. 1÷4	346	587	1067	2825	4704
	9. Koszty obsługi kapitału 20% n=15 lat, a=21%	3629	6156	11208	29669	49390
	Całkowite koszty eksploatacyjne	7656	13804	23088	53127	88415

20.2. Całkowite koszty instalacji z BGWCiM

- Całkowite koszty instalacji z BGWCiM

strumień powietrza m ³ /h	3000			6000			9000			15000			25000		
typ wymiennika	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Koszty inwestycyjne															
1. BGWCiM, zł	4571	3640	5572	8693	6698	9619	12581	9872	13724	19971	15119	22593	27601	22858	31547
2. Nagrzewnice, zł	1194	1194	1194	1675	1675	1675	1989	1989	1989	3040	3040	3040	4257	4257	4257
3. Przepustnice, zł	527	527	527	604	604	604	741	741	741	900	900	900	1145	1145	1145
Suma kosztów inwestyc.	6292	5361	7293	10972	8977	11898	15311	12602	16454	23911	19059	26533	33003	28260	36949
Koszty eksploatacyjne															
4. Koszty ciepła, zł	2039	2039	2039	4008	4008	4008	5988	5988	5988	9605	9605	9605	15988	15988	15988
5. Nadzór i obsługa 2% z poz. 2 i 3, zł	34	34	34	46	46	46	55	55	55	79	79	79	108	108	108
6. Konserwacja 2% z Pos. 2 i 3, zł	34	34	34	46	46	46	55	55	55	79	79	79	108	108	108
7. Koszty obsługi kapitału 20 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7a. dla BGWCiM n = 20 lat, a= 20 %, zł	914	728	1114	1738	1339	1923	2516	1974	2744	3994	3023	4518	5520	4571	6309
7b dla poz. 2 i 3 n=15 lat, a= 21 %, zł	361	361	361	478	478	478	573	573	573	827	827	827	1134	1134	1134
Całkowite koszty eksp., zł	3382	3196	3582	6316	5917	6501	9187	8645	9415	14584	13613	15108	22858	21909	23647

- uzyskiwane oszczędności

Strumień powietrza w m ³ /h	3000			6000			9000		
Typ wymiennika	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Koszt instalacji bez BGWCiM zł	17282			29317			53374		
Koszt instalacji z BGWCiM zł	6292	5361	7293	10972	8977	11898	15311	12602	16454
Stosunek kosztów inwest. %	36	31	42	37	30	40	28	23	30
Oszczędności eksploatacyjne, %	56	59	54	55	58	53	61	63	60

Strumień powietrza w m ³ /h	15000			25000		
Typ wymiennika	A	B	C	A	B	C
Koszt instalacji bez BGWCiM zł	141282			235192		
Koszt instalacji z BGWCiM zł	23911	19059	26533	33003	28260	36949
Stosunek kosztów inwest. %	16	13	18	14	12	15
Oszczędności eksploatacyjne, %	73	75	72	75	76	74

21. Zastosowanie BGWCiM dla wykorzystania w domkach jednorodzinnych.

Możliwe jest również stosowanie BGWCiM w instalacjach termowentylacyjnych w domkach jednorodzinnych oraz w domach w zabudowie szeregowej.

W takich obiektach (w zależności od trybu życia mieszkańców) występuje potrzeba całodobowej pracy wymiennika. Zatem powinny być wykonane dwa identyczne wymienniki, użytkowane naprzemiennie. W czasie przerwy w pracy wymiennika następuje istotna jego naturalna samoregeneracja.

Wykonanie takich wymienników, z powodu ich niedużych wielkości, jest nieskomplikowane i tanie. Można je wykonać we własnym zakresie.

Niezbędny strumień powietrza dla domku jednorodzinnego o przeciętnej wielkości wynosi ok. $300 \div 400 \text{ m}^3/\text{h}$. Przekrój poprzeczny złoża akumulacyjnego wymiennika (przy zachowaniu prędkości przepływu powietrza w złożu ok. $v = 0,15 \text{ m/s}$) wyniósłby $0,55 \div 0,75 \text{ m}^2$.

Przy założeniu długości wymiennika $3 \div 4 \text{ m}$, potrzeba jedynie około $1,7 \div 3 \text{ m}^3$ żwiru ($\phi 25 \div 30 \text{ mm}$). Do tego należy dodać kilka m^2 płyt styropianowych i folii igielitowej oraz kilka metrów elementów na kanały (mogą to być np. rury z tworzywa sztucznego).

Stosując wymienniki gruntowe do termowentylacji domków jednorodzinnych poza wstępnym podgrzewem powietrza wentylacyjnego zimą, szczególnie cenne jest również, wykorzystanie efektu ochładzania powietrza w złożu w okresie letnich upalnych dni.

22. Badania czystości powietrza uzdatnionego w BGWCiM.

22.1. Badania dotyczące radonu

W październiku 1995 roku przeprowadzono w Politechnice Wrocławskiej badania stężenia radonu na wlocie i wylocie trzech bezprzeponowych gruntowych wymienników ciepła i masy (BGWCiM) pracujących już 16 lat. Równocześnie porównawcze badania wykonano w żwirowym zasobniku akumulacyjnym ładowanym ciepłym powietrzem z hybrydowych kolektorów słonecznych oraz w pomieszczeniach bytowych. Można bowiem było spodziewać się istotnego wzrostu stężenia radonu ^{222}Rn , zwłaszcza że kruszywem w BGWC i Masy był łom granitowy. Nic takiego nie nastąpiło.

Pomiary wykonał Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiologii Państwowego Zakładu Higieny w Warszawie przy wykorzystaniu detektorów węglowych Pico-Rad. Detektory wyłożono (zgodnie z instrukcją) w dniu 16 października '95 ok. godz. 14⁰⁰, a zdjęto dnia 18 października '95 ok. godz. 13⁰⁰. Pomiary przeprowadzono w Z.O.R.iR. PHZ w dniu 20 października '95.

Pomierzone wartości należy traktować jako chwilowe, uśrednione za okres ekspozycji.

Powietrze zewnętrzne zawierało na wysokości stacji meteorologicznej (ok. 2,5 m nad poziomem terenu) oraz na wlocie do zasobnika żwirowego 14,8 Bq/m³ ($\pm 7,5$). Po przejściu przez 5 metrowej długości BGWC i Masy praktycznie nie nastąpił wzrost stężenia. W przypadku małego i dużego wymiennika powietrze opuszczające wymiennik zawierało również 14,8 Bq/m³, natomiast po przejściu złoża żwirowego zasobnika oraz na wyjściu ze średniego BGWCiM stężenia ^{222}Rn były nieznacznie wyższe (odpowiednio 22,2 i 25,9). Można to wyjaśnić działaniem promieniowania ścian otaczających betonowej podziemnej wywiewnej maszynowni wentylacyjnej. Zmierzono tam bowiem dość wysokie stężenia 103,6 oraz 107,6 Bq/m³. Podobnie wyjaśnić należy nieznaczny wzrost stężenia na wyjściu z zasobnika żwirowego, znajdującego się w żelbetowym budynku.

Jednocześnie, dla uzyskania wiarygodnych wartości porównawczych, przeprowadzono w tych samych godzinach badania stężenia powietrza radonem w kilku pomieszczeniach Katedry Klimatyzacji i Ciepłownictwa na trzecim piętrze gmachu C-6 Politechniki Wrocławskiej. Wartości stężenia radonu wynosiły wszędzie 29,6 Bq/m³, przy stężeniach na zewnątrz na wysokości III piętra 11,1 Bq/m³.

Można z przekonaniem stwierdzić, że: przeprowadzone przez PZH w Warszawie pomiary stężenia radonu ^{222}Rn wykazały, że powietrze zewnętrzne przechodząc przez długie,

bo 5 metrowe złoża kamienne bezprzeponowych gruntowych wymienników ciepła i masy, posadowionych średnio 2 m poniżej poziomu terenu, nie zostało wzbogacone radonem, chociaż można się było tego spodziewać. Daje to dużą satysfakcję, gdyż obala niesłusznie formułowane podejrzenia o skażeniu radonem powietrza uzdatnianego w BGWC i Masy.

Należy przy tym nadmienić, że w różnych krajach przyjmowane są różne wartości graniczne stężenia radonu w budynkach dla tzw. poziomu działania, od 100 - 750 Bq/m³. Poziomem działania (action level) przyjęto określać taką graniczną wartość stężenia radonu (uśrednioną w okresie pełnego roku) w pomieszczeniach na stały pobyt ludzi, której przekroczenie powoduje obowiązek podjęcia działań zaradczych.

W 1994 r. ustanowiono „Podstawowe Międzynarodowe Normy Ochrony Radiologicznej i Bezpieczeństwa Źródeł Promieniowania Jonizującego”, opracowane pod wspólnym patronatem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, Światowej Organizacji Zdrowia, Organizacji Wyżywienia i Rolnictwa ONZ, Międzynarodowej Organizacji Pracy i wielu innych organizacji międzynarodowych, w których określono dopuszczalną wartość stężenia radonu w budynkach w przedziale 200 - 600 Bq/m³.

W Polsce obowiązywało do niedawna dla domów oddawanych po 1 stycznia 1995 r. „Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 31.03.1988 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych określających zagrożenie promieniowaniem jonizującym”. To rozporządzenie zostało obecnie, w porozumieniu z Ministrem Zdrowia i Opieki Społecznej, znowelizowane i dopuszczalne stężenia radonu w budynkach ustala następująco:

- 1) 400 Bq/m³ - w budynkach istniejących i oddawanych do użytku przed 01.01.1998 r.,
- 2) 200 Bq/m³ - w budynkach oddawanych do użytku po 01.01.1998 r.

22.2. Badania mikrobiologiczne

W BGWCiM następuje faktycznie oczyszczenie powietrza przepływającego przez złoża.

Dowodem są wyniki badań zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza atmosferycznego na wlocie do bezprzeponowego gruntowego wymiennika ciepła i masy oraz na wylocie z tego wymiennika, wykonane w zespole wymienników zlokalizowanych w podwórzu gmachu C-6 Politechniki Wrocławskiej przy ul. Norwida 4/6, z dnia 16 maja '94. Badania te przeprowadzone zostały przez Dział Epidemiologii Wojewódzkiej Stacji Sanitarno - Epidemiologicznej we Wrocławiu. Orzeczenie ostateczne brzmi następująco:

“W wyniku przeprowadzonego badania stwierdzono, iż powietrze po przejściu przez wymiennik ciepła zawiera wielokrotnie mniej komórek drobnoustrojów, niż przy wlocie”.

Badania przeprowadzono na podstawie wymienionych w orzeczeniu norm PKNM i J, a dane liczbowe odnoszące się do 1 m³ powietrza są następujące:

Nr badani a	Punkt pomiar u	Ogólna liczba bakterii	Liczba				Ogólna liczba grzybów
			Promieniowce Actinomycetales	Pseudomonas fluorescens	Gronkowce hemolizujące Staphylococcus		
					Hemoliza typu		
					α	β	
1	2	3	4	5	6	7	8
417	włot	10615	3319	288	brak wzrostu	brak wzrostu	3485
418	wylot	680	157	brak wzrostu	brak wzrostu	brak wzrostu	1231

Analizując uzyskane z tych badań wyniki należy wyjaśnić, że:

- przeciętnie czyste powietrze zawiera 3000 - 5000 grzybów w 1 m³,
- powietrze zawierające 5000 - 10.000 grzybów w 1 m³ uznaje się za mogące ujemnie wpływać na środowisko,
- uznaje się, iż zagrażające środowisku naturalnemu człowieka jest powietrze zawierające powyżej 10.000 grzybów w 1 m³.

Badania wykazały, iż powietrze w otoczeniu BGWC i Masy (na wlocie) było czyste, gdyż zawierało 3485 grzybów w 1 m³, a w wymienniku nastąpiło znaczne jego dalsze oczyszczenie i spadek ogólnej liczby grzybów do 1231/ 1m³.

Gdy natomiast chodzi o zawartość bakterii, to po przejściu przez złożę wymiennika nastąpiło bardzo duże oczyszczenie powietrza i spadek liczby bakterii z 10.615 na wlocie do znikomej wartości 680 na wylocie z BGWC i Masy.

Dla umożliwienia oceny stanu czystości powietrza opuszczającego BGWCiM warto wyjaśnić, że na oddziałach noworodków dopuszcza się 700 bakterii w 1 m³ powietrza. Zatem powietrze z BGWCiM jest tak czyste, że praktycznie mogło by być nawiewane bez dodatkowej filtracji na te oddziały, czego jednakże czynić nie należy. W takich oddziałach zawsze stosuje się dobrą dodatkową filtrację przed wprowadzeniem powietrza do

pomieszczeń, podobnie jak na oddziałach wcześniaków, gdzie dopuszczalna liczba bakterii wynosi 300/ 1 m³ powietrza.

Ostatecznie należy stwierdzić, iż w bezprzeponowych gruntowych wymiennikach ciepła i masy następuje istotne oczyszczenie powietrza (nie jego zanieczyszczenie), zaś ich 16 letnia eksploatacja, bez jakiegokolwiek czyszczenia, nie wykazała istotnego wzrostu oporów przepływu powietrza.

23. Referencje o działaniu BGWCiM

Referencje o poprawnie działających instalacjach pozyskujących energię ciepłą z gruntu przy zastosowaniu bezprzeponowych gruntowych wymienników ciepła i masy (BGWCiM) można uzyskać w np. Centrum Exbudu w Kielcach. Tam od ponad 6 lat pracuje w pełni sprawnie 7 instalacji z BGWCiM, wykonanych wg projektu mgr inż. Dziewolskiej, przy konsultacji z autorem tej publikacji. Latem temperatura na wyjściu z BGWCi Masy nie przekracza +21°C, zaś zimą uzyskuje się efekty zbliżone do podanych wcześniej. Użytkownicy są bardzo zadowoleni. Instalacjami tymi opiekował się dawniej mgr inż. Chmiel, a obecnie mgr inż. Jędrzejewski. Exbud prowadzi szkolenia, w trakcie których przekazuje informacje na temat energooszczędnych rozwiązań w Centrum Exbudu w Kielcach, ze szczególnym wyróżnieniem działania BGWCi Masy. Uczestnikom są przedstawione plansze ze schematami pracy układów oraz wykresy z efektami działania.

Znakomite efekty działania (podobno jeszcze lepsze od wyżej przedstawionych) uzyskano na instalacji pracującej w Gauchau w RFN (dawniej NRD).

W pełni satysfakcjonujące wyniki wykazują wspomniane wcześniej 3 instalacje z BGWCi Masy w Politechnice Wrocławskiej, eksploatowane w sposób ciągły od 16 lat.

24. Wnioski.

- ◆ Zastosowanie wymienników gruntowych dla potrzeb kształtowania mikroklimatu pomieszczeń, powoduje znaczne oszczędzenie energii (ciepła zimą i chłodu latem) i to w sposób przyjazny dla środowiska naturalnego. Oszczędności uzyskuje się w drodze zmniejszenia zużycia energii wytwarzanej przez źródła konwencjonalne oraz przez możliwość zmniejszenia wielkości niektórych elementów instalacji wentylacyjnych.
- ◆ Koszty wykonania instalacji z BGWCiM są porównywalne z kosztami wykonania tradycyjnej instalacji z całorocznym normowaniem temperatury, szczególnie przy większych strumieniach powietrza wentylacyjnego. Jeżeli dodatkowo uwzględni się koszt agregatu chłodniczego, wówczas stosowanie wymienników gruntowych jest opłacalne w każdym przypadku.
- ◆ Badania jednoznacznie wykazały, że stosowanie wymienników większych jest bardziej korzystne niż stosowanie wymienników małych. Wynika to głównie ze znacznie szybszego wzrostu kosztów agregatów chłodniczych w porównaniu do wzrostu kosztów wykonania wymienników gruntowych.
- ◆ Z badanych typów wykonania wymiennika najtańszym okazał się wymiennik typu B (częściowo zagłębiony). Takie wykonanie wymiennika wymaga najmniejszych robót ziemnych i najmniejszych nakładów na transport materiałów.
- ◆ Koszty inwestycyjne małych wymienników w porównaniu do dużych zostały w pracy nieco zawyżone. Inwestycje związane z wykonaniem wymienników kosztorysowane były bowiem bez uwzględnienia prac budowlanych związanych z całością obiektu. Spowodowało to zwiększenie kosztów wynajmu maszyn budowlanych na okresy dłuższe niż wynosi rzeczywisty potrzebny do wykonania wymienników czas ich pracy (np. na cały dzień roboczy - jest to minimalny zwyczajowy okres wynajmowania sprzętu). Ponadto wiadomo, że wynajęcie maszyn na dłuższy okres jest w przeliczeniu na maszyno- godzinę tańsze niż ich wynajęcie na okres krótszy, a przy wykonywaniu wymienników większych mamy do czynienia właśnie z dłuższymi okresami pracy sprzętu.
- ◆ W warunkach niemieckich, podobnie jak w polskich opłacalne jest także stosowanie wstępnego uzdatniania powietrza wentylacyjnego za pomocą wymienników gruntowych w przedstawionym rozwiązaniu. Z pracy wynika, iż bardziej opłacalne są wymienniki większe. Występuje również inna struktura kosztów wykonywania instalacji (np. dużo wyższe są koszty roboczogodzin).
- ◆ Możliwe jest uzyskanie oszczędności „czysto eksploatacyjnych” wynikających z wstępnego podgrzania powietrza wentylacyjnego w gruntowym wymienniku, dochodzących, w zależności od czasokresu wykorzystywania instalacji w ciągu doby do 30 % całkowitego zużycia ciepła. Jeżeli dodatkowo doliczyć mniejsze o ok. 40 % koszty związane z opłatą stałą, to całkowite oszczędności eksploatacyjne w sezonie chłodnym dochodzą do 40 %.

- ◆ Uzyskiwane parametry powietrza po przejściu przez wymiennik gruntowy w sezonie ciepłym wskazują na możliwość dostarczenia przez wymiennik całkowitej ilości potrzebnego chłodu dla obiektów, w których nie występuje bezwzględny nakaz zachowania wysoce komfortowych warunków termicznych powietrza wewnętrznego.
- ◆ Akumulacyjność złoza powoduje obcięcie wszelkich niekorzystnych pików warunków zewnętrznych występujących podczas wysokich upałów i silnych mrozów. Umożliwia to dobieranie wymienników konwencjonalnych (nagrzewnic i chłodnic) na korzystniejsze parametry.
- ◆ W obiektach o większym reżimie utrzymania warunków wewnętrznych w pomieszczeniach, wymienniki gruntowe mogą znaleźć zastosowanie jako urządzenia wspomagające układ grzewczy i chłodniczy.
- ◆ Strata ciśnienia przepływającego powietrza w wymienniku (ok. 200 Pa) jest porównywalna z oporami przepływu w elementach instalacji tradycyjnej (chłodnica i mniejsza nagrzewnica), zastępowanych przez wymiennik gruntowy.
- ◆ W instalacjach wentylacyjnych z normowaniem temperatury powietrza wentylacyjnego zimą, wymiarowanych z uwagi na nadmiar zysków ciepła w pomieszczeniach, po zastosowaniu wymiennika gruntowego można zmniejszyć wielkość wszystkich elementów instalacji do ok. 50 % ze względu na możliwość nawiewania powietrza przy $\Delta t = 6 \text{ K}$ zamiast $\Delta t = 3 \text{ K}$ przyjmowanych zazwyczaj w takich instalacjach. Zużycie materiału na wykonanie kanałów wentylacyjnych będzie wówczas mniejsze o ok. 30 %. Również - co jest bardzo istotne - mniejsze będą wentylatory i filtry powietrza.
- ◆ Powietrze po opuszczeniu badanych wymienników zawiera dużo mniejsze ilości mikroorganizmów i pyłów w porównaniu do powietrza pobieranego w czerpni. Zaś ich już 16 letnia ciągła eksploatacja, bez przeprowadzania w trakcie jakiegokolwiek czyszczenia nie wykazuje istotnego wzrostu oporów przepływu powietrza.
- ◆ Powietrze za wymiennikami, mimo iż wypełnienie stanowił łom granitowy nie wykazywało wzrostu stężenia radonu, chociaż można się było tego spodziewać.

25. Literatura:

- [1] Ackermann G.: „Die Theorie der Wärmeaustauscher mit Wärmespeicherung”, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Vol.11, 1931.
- [2] Anzelius A.: „Über Erwärmung Vermittels Durchströmender Medien”, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Vol.6, 1926.
- [3] Axel J.: Das Test - Referenzjahr, Heizung Lüftung und Haustechnik 1977.
- [4] Besler G.J., Spryszynski Zb.: "Urządzenie chłodząco- grzewcze". Patent PRL Nr. 119749. politechnika Wrocławska 1979.
- [5] Besler G.J. i inni: Bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy. Patent PRL Nr 128261 Politechniki Wrocławskiej 1980 r. Patentschrift DDR 159206 Membranloser Boden- Wärme- und Stoffaustauscher; Szwajcaria Nr 28/74; RFN Nr P-311117.953.3.13.
- [6] Besler G.J., Besler M., Kwiecień D.: "Thermolüftungssystem mit Nutzung natürlicher Energie vom Boden und aus der Sonne". Energie für die Zukunft, 9 Intern. Sonnenforum Stuttgart 1994, B.2 s. 1061-1067.
- [7] Besler G.J.: Energooszczędne kształtowanie zdrowego mikroklimatu, Ochrona Środowiska 2/95 s19-23.
- [8] Besler G.J., Spryszynski Zb.: Urządzenie chłodząco- grzewcze. Patent PRL Nr 119749. Politechnika Wrocławska 1979 r.
- [9] Besler G.J., Besler M.: „Wentylacja w budownictwie mieszkaniowym, Wentylacja w Budownictwie i Przemysle”, Wydawn. PZITS nr 644, Kraków'91 s. 5-14.
- [10] Besler G.J.: „Operating data of membraneless heat and mass exchanger for air conditioning systems”, G. Hetsori Ed. Vol.5 s. 15-19, Jerusalem 1990 r.
- [11] Besler M., Ptak A.: „Energia naturalna dla kształtowania mikroklimatu budynków mieszkalnych”, COW 9/92.
- [12] Besler G.J., Burzyński Z.: „Efekty wykorzystania odnawialnego źródła energii w wentylacji i termowentylacji”, COW 10/90 s. 215-217.
- [13] Besler G.J.: „Trendy w wykorzystaniu energii odnawialnych z niewyczerpalnych źródeł”, The 8-th Intern. Conf. of Air Conditioning & District Heating Wrocław' 95 Wyd PZITS nr 701, Wrocław 1995 s. 23-30.
- [14] Besler M., Kwiecień D.: „Analiza opłacalności stosowania bezprzeponowych wymienników ciepła i masy”, The 8-th Intern. Conf. of Air Conditioning & District Heating Wrocław' 95 Wyd PZITS nr 701, Wrocław 1995 s. 31-38.

- [15] Besler G.J. et al.: „Opracowanie podstaw pozyskiwania energii cieplnej z gruntu dla celów klimatyzacji i termowentylacji. Etap I”, Raport PWr 55/80, Wrocław 1980.
- [16] Besler G.J., Besler M., Kwiecień D.: „Kälte- und Wärmegewinnung vom Erdboden”, Ges. Ing. Nr 6/95, s. 307-313.
- [17] Brockmeyer H.: „Energiesparende Gebäudeplanung”, OTTI. Regensburg 1993, s. 115 i 116.
- [18] Brodowicz K.: „Wymienniki ciepła i masy”, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej Warszawa 1977.
- [19] Brodowicz K.: „Teoria wymienników ciepła i masy”, PWN, Warszawa 1982.
- [20] Chomicz K.: „Materiały do poznania agroklimatu Polski”, PWN Warszawa 1977.
- [21] Der Mietpreiskatalog der Firma MPE MIETPARK ENGELHARDT GmbH ze Stuttgartu.
- [22] DIN 4710 (11.82): Meteorologische Daten für Klimaanlageanlagen.
- [23] Fanger P.O. i inni: „Air heating pollution sources in offices and assembly halls ...”, Energy and Buildings, vol. 12, 88.
- [24] Fanger P.O.: „Olf u., Decipol - Die neuen Meßeinheiten für empfundene Luftverschmutzung”, Ges. Ing. 5/88, s. 216- 219.
- [25] Foit H., Majerski St.: „Przeponowy wymiennik gruntowy i jego zastosowanie w systemach wentylacyjnych”, COW 7-8/86.
- [26] Franchietti A. et al.: „Large scale underground cooling system in Italia 16th century Palladian Villas”, Proc. of Int. Hybrid and Passive Conf., Miami 1981.
- [27] Gaj H.: „Metodyka obliczania strat ekologiczno-ekonomicznych”, Gospodarka paliwami i energią 9/1991.
- [28] Gospodarka paliwowo- energetyczna w latach 1988-1989. GUS, Warszawa 1990 r.
- [29] Gryglewicz Wł.: „Zastosowanie złóż kamiennych do magazynowania ciepła w systemach wentylacyjnych”, Praca Doktorska Politechniki Wrocławskiej 1989.
- [30] Hausen H.: „Über die Theorie des Wärmeaustausches in Regeneratoren, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Vol. 9, 1929.
- [31] Kabat M., Nowak W., Sobański R.: „Analiza możliwości wykorzystania energii wód geotermalnych w scentralizowanych źródłach ciepła”, Materiały konferencyjne The 8-th International Conference of Air Conditioning & District Heating, Wrocław- Szklarska Poręba '95.

- [32] Kowalczyk W.: „Model matematyczny ciepła i masy w bezprzeponowym gruntowym wymienniku w systemie wentylacyjnym”, Praca Doktorska Politechniki Wrocławskiej 1988.
- [33] Littman H., Silva D.E.: 4 th International Heat Transfer Conference, Paris - Versailles 1970, Vol. 7.
- [34] Mathey B.: „A Vertical Heat Storage System”, Proc. Subsurface Heat Storage, Stockholm 1983.
- [35] Motzko L.: „Kälte und Wärme in Erde und Luft; Ihre Ausnutzung für technische und landwirtschaftliche Zwecke”; Manz'sche Verlagsbuchhandlung 1941.
- [36] N.N.: Procedure for Selecting a Test Year of Weather Data Recommended by ASHRAE. Arbeitspapier vorgelegt auf der 1. Tagung der Arbeitsgruppe CCMS „Energy Conservation” Sub Project „Climatic Conditions and Reference Year”. Kopenhaga 1975.
- [37] Nusselt W.: „Die Theorie des Winderhitzers”, Zeitschrift des VDI, Vol. 71, 1929.
- [38] Ohm R.: Luftbrunnen zur Forbehandlung der Luft für Klimaanlage. Gesundheits-Ingenieur 90 (1969).
- [39] Ochrona środowiska 1989. GUS, Warszawa 1989 r.
- [40] Panzhauser E.: „Bodenspeicher im Wohnhabitat; Arbeitsbericht vom Laboratorium für Hohbau”, T.U. Wien, 1982.
- [41] Peńsko J., Geisler J.: „Analiza potencjalnego narażenia ludności w Polsce na promieniowanie jonizujące w budynkach mieszkalnych”, Komitet Fizyki Medycznej PAN, Warszawa 1978.
- [42] Recknagel, Taschenbuch für Heizung u. Klimatechnik 97/98, Oldenburg.
- [43] Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 1995. BMWi, Bundesanstalt für Geowissenschaften u. Rohstoffe, Bonn, 09.1995.
- [44] Rubik M.: „Pompy ciepła - poradnik”, Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej „Instal”, Warszawa 1996.
- [45] Rummel K., Schack A.: „Die Berechnung von Regeneratoren”, Stahl und Eisen, Vol. 49 1929.
- [46] Rybska G.: „Dynamika strat ciepła wodnych podziemnych sieci cieplnych”, Praca doktorska, Warszawa PW, 1984.
- [47] Schumann T.E.: „Heat transfer: Liquid flowing through a porous prism”, Journal of the Franklin Institute, vol. 208 1929.
- [48] Schwörer Haus: Das Haus 2/88.

- [49] Sorg O. i Keller J.B.: Patentschrift Nr.211159. Zürich/ Szwajcaria 1940.
- [50] Tomöry T.: „Air Fountain”, Report. Hungarian Institute for Building Science ETI, Budapest 1970.
- [51] Vallon H.: Patentschrift Nr 1295165 BRD „Erdluftbrunnen”. Opatentowane dla firmy Rudolf Otto Meyer 1970 r.
- [52] Vortmeyer D., Schaefer R. J.: „Equivalence of one- and two-phase models for heat transfer processes in packed beds: one diensional theory”, Chem. Eng. Sci.29/1974.
- [53] Wakao N., Kaguei S.: „Heat and mass transfer in packed beds”, Gordon and Brech Science Pblischers, New York, 1982.
- [54] Wayon D.P.: „Current indoor climate problems and their possible solution”, w Indoor air quality problems. Edited by: T. Jędrzejewska-Ścibak, Politechnika Warszawska 1993.
- [55] Zwoździak K.J. i inni: „Przyczyny zanieczyszczenia atmosfery w wyższych partiach Sudetów”, Karkonoskie Badania Ekologiczne, Oficyna Wydawnicza Instytutu Ekologicznego.

Załącznik 1.

Przykładowe kosztorysy wykonania:
Bezprzeponowych Gruntowych Wymienników Ciepła i Masy
dla strumieni powietrza wentylacyjnego 15000 m³/h i 25000 m³/h.

M-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.	ILOSC	17.00%				
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ			CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU	SPRZET
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIALOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC				

W nakładach robocizny uwzględniono współczynnik 0.955

1. WYMIENNIK TYP A - CZ. ZAGLEBIONY

STRUMIEN POWIETRZA 15000 M3/H

KNR 2-01 021702 1 M3 77.8800

WYKOPY ORAZ PRZEKOPY GLEBOKOSCI DO 2.5 M W GRUNCIE KAT.III WYKONYWANE NA ODKŁAD KOPARKAMI

PODSIEBIERNYMI O POJEMNOSCI LYZKI 0.25 M3

14 ROBOCIZNA	R-G	0.2670	20.794	4.50	93.57	
13 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0572	4.455	28.78		128.21
.....						
kosc pozycji wraz z narzutami (zl):		465.74		RAZEM :	93.57	0.00
						0.00
						128.21

KNR 2-01 020302 1 M3 135.8000

PRZYWOZ ZŁOZA WŁASCIWEGO, ROZPROW. I ZBIERAJACEGO Z ODLEGŁOSCI 1 KM /ANALOGIA/

14 ROBOCIZNA	R-G	0.4205	57.104	4.50	256.97	
13 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	13.308	28.78		383.00
12 SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	1.643	34.77		57.13
16 SAMOCHOD SAMOWYŁADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	26.617	28.52		759.12
.....						
Kosc pozycji wraz z narzutami (zl):		3 058.07	RAZEM :		256.97	0.00 0.00 1199.25

KNR 2-01 020805 1 M3 135.8000

DODATEK ZA KĄDZE DALSZE ROZPOCZĘTE 0.5 KM ODLEGŁOSCI PONAD 1 KM TRANSPORTU CAŁEGO ZŁOZA

PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0,5 KM - RAZEM 10 KM/

KR=18.000 KM=18.000 KS=18.000

16 SAMOCHOD SAMOWYŁADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	46.199	28.52					1317.60
.....									
kosz pozycji wraz z narzutami (zł):	2 766.96		RAZEM :	0.00	0.00	0.00			1317.60

KNR 2-01 032002A 1 M3 38.3000

WYKONANIE ZŁOZA WŁASCIWEGO /ZWIR O SR.100 MM/

4 ROBOCIZNA	R-G	1.5280	58.522	4.50	263.35			
0 ZWIR O UZIARNIENIU 100 MM	M3	1.2710	48.679	21.68		1055.36	179.41	
.....								
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	1 787.80			RAZEM :	263.35	1055.36	179.41	0.00

KNR 2-01 032002A 1 M3 97.5000

WYKONANIE ZŁOZA ROZPROW. I ZBIERAJACEGO /ZWIR O SR. 25-30 MM/

4 ROBOCIZNA	R-G	1.5280	148.980	4.50	670.41			
1 ZWIR O UZIARNIENIU 25-30 MM	M3	1.2710	123.923	31.17		3862.68	656.66	
.....								
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	5	927.20		RAZEM :	670.41	3862.68	656.66	0.00

1-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.	IŁOSC	17.00%			
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ			CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIAŁOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	IŁOSC			SPRZET

KNR 2-02 060903	1 M2	223.0700				
IZOLACJE CIEPLNE I PRZECIWDZWIĘKOWE POZIOME NA WIERZCHU KONSTRUKCJI Z PŁYT STYROPIANOWYCH GR. 5 CM NA SUCHO						
94 ROBOCIZNA	R-G	0.0891	19.876	4.50	89.44	
92 PŁYTY STYROPIANOWE GR. 5 CM	M2	1.0500	234.224	5.89	1379.58	234.53
92 MATERIAŁY POMOCNICZE	%	1.5000			20.69	3.52
98 WYCIĄG	M-G	0.0032	0.714	3.90		2.78
90 ŚRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0047	1.048	24.39		25.56
ilość pozycji wraz z narzutami (zł):	1 885.66		RAZEM :	89.44	1400.27	238.05
						28.34

KNR 2-02 060702	1 M2	446.1400				
IZOLACJA WILGOTNOŚCIOWA Z FOLII IGIELITOWEJ /2 WARSTWY/						
94 ROBOCIZNA	R-G	0.1633	72.855	4.50	327.85	
93 FOLIA IGIELITOWA	M2	1.3000	579.982	6.81	3949.68	671.45
92 MATERIAŁY POMOCNICZE	%	1.5000			59.25	10.07
90 ŚRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0005	0.223	24.39		5.44
ilość pozycji wraz z narzutami (zł):	5 390.36		RAZEM :	327.85	4008.93	681.52
						5.44

KNR 2-20 011005	SZT.	47.0000				
UŁOŻENIE TYPOWYCH LUPIN Z WYPEŁNIENIEM SZCZELIN ZAPRAWA						
94 ROBOCIZNA	R-G	1.4611	68.672	4.50	309.02	
94 LUPINY O SZER. 1,4 M	SZT.	1.0000	47.000	47.65	2239.55	380.72
93 LEPIK ASFALTOWY STOSOWANY NA GORACO	KG	3.0000	141.000	0.71	100.11	17.02
98 EMULSJA ASFALTOWA IZOLACYJNA	KG	0.5000	23.500	1.64	38.54	6.55
94 ZAPRAWA CEMENTOWA MARKI 5	DM3	4.0000	188.000	0.10	18.80	3.20
92 MATERIAŁY POMOCNICZE	%	2.2000			52.73	8.96
91 ZURAW SAMOJEZDNY KOŁOWY 5 T	M-G	0.3200	15.040	29.81		448.34
91 KOCIOŁ DO GOTOWANIA LEPIKU O POJ.50-100 DM	M-G	0.2700	12.690	0.84		10.66
98 SAMOCHOD SKRZYNIOWY DO 5 T	M-G	0.3100	14.570	24.39		355.36
ilość pozycji wraz z narzutami (zł):	5 225.29		RAZEM :	309.02	2449.73	416.45
						814.36

KNR 2-01 032002	1 M3	77.8800				
RECZNE OBSYPANIE WYMIENNIKA ZIEMIA /ANALOGIA/						
94 ROBOCIZNA	R-G	1.2224	95.201	4.50	428.40	
ilość pozycji wraz z narzutami (zł):	899.64		RAZEM :	428.40	0.00	0.00
						0.00

K O S Z T Y B E Z P O S R E D N I E (Kb)	2439.01	12776.96	2172.08	3493.22
K o s z t y p o s r e d n i e (Kp) 75.00%	1829.26			2619.92
Z Y S K (Kb+Kp) R=20.0% M= 0.0% Kz= 0.0% S=20.0%	853.65	0.00	0.00	1222.63
S U M A	5121.92	12776.96	2172.08	7335.77
R A Z E M		27 406.73 zł		
D o z a p l a t y		27 406.73 zł		

M-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.	ILOSC	17.00%			
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ			CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIALOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC			SPRZET

2. WYMIENNIK TYP B - CALKOW. ZAGLEBIONY

STRUMIEN POWIETRZA 15000 M3/H

KNR 2-01 020302 1 M3 177.3400

WYKOPY W GRUNCIE KAT.III KOPARKAMI PODSIEBIERNYMI O POJEMNOSCI LYZKI 0.25 M3,Z TRANSPORTEM

UROBKU SAMOCHODAMI NA ODL.DO 1 KM

94 ROBOCIZNA	R-G	0.4205	74.571	4.50	335.57	
43 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	17.379	28.78		500.17
22 SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	2.146	34.77		74.62
56 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	34.759	28.52		991.33

kosz pozycji wraz z narzutami (zl):	3 993.55	RAZEM :	335.57	0.00	0.00	1566.12
-------------------------------------	----------	---------	--------	------	------	---------

KNR 2-01 020805 1 M3 177.3400

DODATEK ZA KAZDE DALSZE ROZPOCZETE 0.5 KM ODLEGLOSCI PONAD 1 KM TRANSPORTU GRUNTU

KAT.III-IV PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0.5 KM -

RAZEM ODLEGL. 10 KM/

KR=18.000 KM=18.000 KS=18.000

56 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	60.331	28.52		1720.64
-----------------------------------	-----	--------	--------	-------	--	---------

kosz pozycji wraz z narzutami (zl):	3 613.34	RAZEM :	0.00	0.00	0.00	1720.64
-------------------------------------	----------	---------	------	------	------	---------

KNR 2-01 021702 1 M3 85.7500

WYKOPY ORAZ PRZEKOPY GLEBOKOSCI DO 2.5 M W GRUNCIE KAT.III WYKONYWANE NA ODKLAD KOPARKAMI

PODSIEBIERNYMI O POJEMNOSCI LYZKI 0.25 M3

94 ROBOCIZNA	R-G	0.2670	22.895	4.50	103.03	
43 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0572	4.905	28.78		141.17

kosz pozycji wraz z narzutami (zl):	512.82	RAZEM :	103.03	0.00	0.00	141.17
-------------------------------------	--------	---------	--------	------	------	--------

KNR 2-01 020302 1 M3 135.8000

PRZYWOZ ZLOZA WLASCIWEGO, ROZPROW. I ZBIERAJACEGO Z ODLEGLOSCI 1 KM /ANALOGIA/

94 ROBOCIZNA	R-G	0.4205	57.104	4.50	256.97	
43 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	13.308	28.78		383.00
22 SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	1.643	34.77		57.13
56 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	26.617	28.52		759.12

kosz pozycji wraz z narzutami (zl):	3 058.07	RAZEM :	256.97	0.00	0.00	1199.25
-------------------------------------	----------	---------	--------	------	------	---------

KNR 2-01 020805 1 M3 135.8000

DODATEK ZA KAZDE DALSZE ROZPOCZETE 0.5 KM ODLEGLOSCI PONAD 1 KM TRANSPORTU CALEGO ZLOZA

PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0,5 KM - RAZEM 10 KM/

KR=18.000 KM=18.000 KS=18.000

M-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.		ILOSC			17.00%	
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ				CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIAŁOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC				SPRZET
56 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	46.199	28.52			1317.60
tosc pozycji wraz z narzutami (zl):	2 766.96			RAZEM :	0.00	0.00	1317.60
KNR 2-01 032002A	1 M3		38.3000				
WYKONANIE ZLOZA WLASCIWEGO /ZWIR O SR. 100 MM/							
94 ROBOCIZNA	R-G	1.5280	58.522	4.50	263.35		
50 ZWIR O UZIARNIENIU 100 MM	M3	1.2710	48.679	21.68		1055.36	179.41
tosc pozycji wraz z narzutami (zl):	1 787.80			RAZEM :	263.35	1055.36	179.41
KNR 2-01 032002A	1 M3		97.5000				
WYKONANIE ZLOZA ROZPROW. I ZBIERAJACEGO /ZWIR O SR. 25-30 MM/							
94 ROBOCIZNA	R-G	1.5280	148.980	4.50	670.41		
51 ZWIR O UZIARNIENIU 25-30 MM	M3	1.2710	123.923	31.17		3862.68	656.66
tosc pozycji wraz z narzutami (zl):	5 927.20			RAZEM :	670.41	3862.68	656.66
KNR 2-02 060903	1 M2		205.7900				
IZOLACJE CIEPLNE I PRZECIWDZWIEKOWE POZIOME NA WIERZCHU KONSTRUKCJI Z PLYT STYROPIANOWYCH							
GR. 5 CM NA SUCHO							
94 ROBOCIZNA	R-G	0.0891	18.336	4.50	82.51		
52 PLYTY STYROPIANOWE GR. 5 CM	M2	1.0500	216.080	5.89		1272.71	216.36
32 MATERIALY POMOCNICZE	%	1.5000				19.09	3.25
28 WYCIAG	M-G	0.0032	0.659	3.90			2.57
30 SRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0047	0.967	24.39			23.59
tosc pozycji wraz z narzutami (zl):	1 739.62			RAZEM :	82.51	1291.80	219.61
KNR 2-02 060702	1 M2		411.5800				
IZOLACJA WILGOTNOSCIOWA Z FOLII IGIELITOWEJ /2 WARSTWY/							
94 ROBOCIZNA	R-G	0.1633	67.211	4.50	302.45		
53 FOLIA IGIELITOWA	M2	1.3000	535.054	6.81		3643.72	619.43
32 MATERIALY POMOCNICZE	%	1.5000				54.66	9.29
30 SRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0005	0.206	24.39			5.02
tosc pozycji wraz z narzutami (zl):	4 972.80			RAZEM :	302.45	3698.38	628.72
KNR 2-20 011005	SZT.		47.0000				
ULOZENIE TYPOWYCH LUPIN Z WYPELNIENIEM SZCZELIN ZAPRAWA							
94 ROBOCIZNA	R-G	1.4611	68.672	4.50	309.02		
54 LUPINY O SZER. 1,4 M	SZT.	1.0000	47.000	47.65		2239.55	380.72
33 LEPIK ASFALTOWY STOSOWANY NA GORACO	KG	3.0000	141.000	0.71		100.11	17.02
58 EMULSJA ASFALTOWA IZOLACYJNA	KG	0.5000	23.500	1.64		38.54	6.55
54 ZAPRAWA CEMENTOWA MARKI 5	DM3	4.0000	188.000	0.10		18.80	3.20
32 MATERIALY POMOCNICZE	%	2.2000				52.73	8.96
31 ZURAW SAMOJEZDNY KOLOWY 5 T	M-G	0.3200	15.040	29.81			448.34
41 KOCIOŁ DO GOTOWANIA LEPIKU O POJ.50-100 DM	M-G	0.2700	12.690	0.84			10.66

1-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.		IŁOSC			17.00%	
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ				CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIAŁOW I SPRZĘTU	J.M.	NORMA	IŁOSC				SPRZĘT

58 SAMOCHOD SKRZYNIOWY DO 5 T	M-G	0.3100	14.570	24.39			355.36
.....							
kosz pozycji wraz z narzutami (zł):	5 225.29			RAZEM :	309.02	2449.73	416.45 814.36

KNR 2-01 032002	1 M3		85.7500				
RECZNE OBSYPANIE WYMIENNIKA ZIEMIA /ANALOGIA/							
.....							
94 ROBOCIZNA	R-G	1.2224	104.821	4.50	471.69		
.....							
kosz pozycji wraz z narzutami (zł):	990.55			RAZEM :	471.69	0.00	0.00 0.00

K O S Z T Y B E Z P O S R E D N I E (Kb)				2795.00	12357.94	2100.84	6790.31
K o s z t y p o s r e d n i e (Kp)				75.00%	2096.25		5092.73
Z Y S K (Kb+Kp) R=20.0% M= 0.0% Kz= 0.0% S=20.0%				978.25	0.00	0.00	2376.61
S U M A				5869.50	12357.94	2100.84	14259.65
R A Z E M					34 587.93 zł		
D o z a p l a t y					34 587.93 zł		

3. WYMIENNIK TYP C - PRZY SKARPIE

STRUMIEN POWIETRZA 15000 M3/H

KNR 2-01 020302	1 M3	161.9700				
PRZYWOZ GRUNTU Z ODLEGŁOŚCI 1 KM /ANALOGIA/						
94 ROBOCIZNA	R-G	0.4205	68.108	4.50	306.49	
43 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	15.873	28.78		456.82
22 SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	1.960	34.77		68.15
56 SAMOCHOD SAMOWYŁADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	31.746	28.52		905.40
.....						
kosz pozycji wraz z narzutami (zł):		3 647.41	RAZEM :	306.49	0.00	0.00 1430.37

KNR 2-01 020805	1 M3	161.9700				
DODATEK ZA KAZDE DALSZE ROZPOCZĘTE 0.5 KM ODLEGŁOŚCI PONAD 1 KM TRANSPORTU GRUNTU						
KAT.III-IV PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0.5 KM -						
RAZEM ODLEGL. 10 KM/						
KR=18.000 KM=18.000 KS=18.000						
56 SAMOCHOD SAMOWYŁADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	55.102	28.52		1571.51
.....						
kosz pozycji wraz z narzutami (zł):		3 300.17	RAZEM :	0.00	0.00	0.00 1571.51

KNR 2-01 020302	1 M3	142.0000				
PRZYWOZ ZŁOŻA WŁAŚCIWEGO, ROZPROW. I ZBIERAJĄCEGO Z ODLEGŁOŚCI 1 KM /ANALOGIA/						
94 ROBOCIZNA	R-G	0.4205	59.711	4.50	268.70	
43 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	13.916	28.78		400.50
22 SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	1.718	34.77		59.73
56 SAMOCHOD SAMOWYŁADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	27.832	28.52		793.77
.....						
kosz pozycji wraz z narzutami (zł):		3 197.66	RAZEM :	268.70	0.00	0.00 1254.00

ABC) WYMIENNIKI TYPU A,B,C

ODSTAWA WYCENY	J.M.	ILOSC	17.00%
PIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ			
YSZCZ. ROBOCIZNY MATERIALOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC

NR 2-01 020805 1 M3 142.0000

ODATEK ZA KAZDE DALSZE ROZPOCZETE 0.5 KM ODLEGLOSCI PONAD 1 KM TRANSPORTU CALEGO ZLOZA
O DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0,5 KM - RAZEM 10 KM/

R=18.000 KM=18.000 KS=18.000

SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	48.308	28.52			1377.74
sc pozycji wraz z narzutami (zl):	2 893.26		RAZEM :	0.00	0.00	0.00	1377.74

NR 2-01 032002A 1 M3 40.0000

YKONANIE ZLOZA WLASCIWEGO /ZWIR O SR. 100 MM/

ROBOCIZNA	R-G	1.5280	61.120	4.50	275.04		
ZWIR O UZIARNIENIU 100 MM	M3	1.2710	50.840	21.68		1102.21	187.38
sc pozycji wraz z narzutami (zl):	1 867.17		RAZEM :	275.04	1102.21	187.38	0.00

NR 2-01 032002A 1 M3 102.0000

YKONANIE ZLOZA ROZPROW. I ZBIERAJACEGO /ZWIR O SR. 25-30 MM/

ROBOCIZNA	R-G	1.5280	155.856	4.50	701.35		
ZWIR O UZIARNIENIU 25-30 MM	M3	1.2710	129.642	31.17		4040.94	686.96
sc pozycji wraz z narzutami (zl):	6 200.73		RAZEM :	701.35	4040.94	686.96	0.00

NR 2-02 060903 1 M2 429.0400

IZOLACJE CIEPLNE I PRZECIWDZWIEKOWE POZIOME NA WIERZCHU KONSTRUKCJI Z PLYT STYROPIANOWYCH
GR. 5 CM NA SUCHO

ROBOCIZNA	R-G	0.0891	38.227	4.50	172.02		
PLYTY STYROPIANOWE GR. 5 CM	M2	1.0500	450.492	5.89		2653.40	451.08
MATERIALY POMOCNICZE	%	1.5000				39.80	6.77
WYCIAG	M-G	0.0032	1.373	3.90			5.35
SHRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0047	2.016	24.39			49.17
sc pozycji wraz z narzutami (zl):	3 626.78		RAZEM :	172.02	2693.20	457.85	54.52

NR 2-02 060702 1 M2 857.0800

IZOLACJA WILGOTNOSCIOWA Z FOLII IGIELITOWEJ /2 WARSTWY/

ROBOCIZNA	R-G	0.1633	139.961	4.50	629.82		
FOLIA IGIELITOWA	M2	1.3000	1114.204	6.81		7587.73	1289.91
MATERIALY POMOCNICZE	%	1.5000				113.82	19.35
SHRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0005	0.429	24.39			10.46
sc pozycji wraz z narzutami (zl):	10 355.41		RAZEM :	629.82	7701.55	1309.26	10.46

NR 2-20 011005 SZT. 47.0000

LOZENIE TYPOWYCH LUPIN Z WYPELNIENIEM SZCZELIN ZAPRAWA

ROBOCIZNA	R-G	1.4611	68.672	4.50	309.02		
-----------	-----	--------	--------	------	--------	--	--

(BC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

WYSTAWA WYCENY	J.M.		ILOSC			17.00%	
WIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ				CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU SPRZET
W SZCZ. ROBOCIZNY MATERIAŁOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC				
LUPINY O SZER. 1,4 M	SZT.	1.0000	47.000	47.65		2239.55	380.72
LEPIK ASFALTOWY STOSOWANY NA GORACO	KG	3.0000	141.000	0.71		100.11	17.02
EMULSJA ASFALTOWA IZOLACYJNA	KG	0.5000	23.500	1.64		38.54	6.55
ZAPRAWA CEMENTOWA MARKI 5	DM3	4.0000	188.000	0.10		18.80	3.20
MATERIALY POMOCNICZE	%	2.2000				52.73	8.96
ZURAW SAMOJEZDNY KOŁOWY 5 T	M-G	0.3200	15.040	29.81			448.34
KOCIOŁ DO GOTOWANIA LEPIKU O POJ.50-100 DM	M-G	0.2700	12.690	0.84			10.66
SAMOCCHOD SKRZYNIOWY DO 5 T	M-G	0.3100	14.570	24.39			355.36
sc pozycji wraz z narzutami (zł):	5	225.29		RAZEM :	309.02	2449.73	416.45 814.36

NR 2-01 032002 1 M3 161.9700

SZCZEGÓLNE OBSYPANIE WYMIENNIKA ZIEMIA /ANALOGIA/

ROBOCIZNA	R-G	1.2224	197.992	4.50	890.96		
sc pozycji wraz z narzutami (zł):	1	871.02		RAZEM :	890.96	0.00	0.00 0.00

K O S Z T Y B E Z P O S R E D N I E (Kb)		3553.41	17987.63	3057.90	6512.99
K o s z t y p o s r e d n i e (Kp)	75.00%	2665.06			4884.74
Z Y S K (Kb+Kp) R=20.0% M= 0.0% Kz= 0.0% S=20.0%		1243.69	0.00	0.00	2279.55
S U M A		7462.16	17987.63	3057.90	13677.28
R A Z E M			42 184.97 zł		
D o z a p l a t y			42 184.97 zł		

4. WYMIENNIK TYPU A - CZ. ZAGŁĘBIONY

STRUMIEN POWIETRZA 25000 M3/H

NR 2-01 021702 1 M3 122.9200

WYKOPY ORAZ PRZEKOPY GŁĘBOKOŚCI DO 2.5 M W GRUNCIE KAT.III WYKONYWANE NA ODKŁAD KOPARKAMI ODSIEBIERNYMI O POJEMNOŚCI ŁYŻKI 0.25 M3

ROBOCIZNA	R-G	0.2670	32.820	4.50	147.69		
KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0572	7.031	28.78			202.35
sc pozycji wraz z narzutami (zł):	735.08		RAZEM :	147.69	0.00	0.00	202.35

NR 2-01 020302 1 M3 231.4000

PRZYZWOZ ZŁOŻA WŁAŚCIWEGO, ROZPROW. I ZBIERAJĄCEGO Z ODLEGŁOŚCI 1 KM /ANALOGIA/

ROBOCIZNA	R-G	0.4205	97.304	4.50	437.87		
KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	22.677	28.78			652.64
SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	2.800	34.77			97.36
SAMOCCHOD SAMOWYŁADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	45.354	28.52			1293.50
sc pozycji wraz z narzutami (zł):	5	210.86		RAZEM :	437.87	0.00	0.00 2043.50

NR 2-01 020805 1 M3 231.4000

DODATEK ZA KAŻDE DALSZE ROZPOCZĘTE 0.5 KM ODLEGŁOŚCI PONAD 1 KM TRANSPORTU CAŁEGO ZŁOŻA PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKÓW PO 0,5 KM - RAZEM 10 KM/

KR=18.000 KM=18.000 KS=18.000

-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.		ILOSC	17.00%				
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ				CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU	SPRZET
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIALOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC					
5 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	78.722	28.52				2245.15
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	4	714.81		RAZEM :	0.00	0.00	0.00	2245.15
CNR 2-01 032002A	1	M3	62.5000					
WYKONANIE ZLOZA WLASCIWEGO /ZWIR O SR.100 MM/								
4 ROBOCIZNA	R-G	1.5280	95.500	4.50	429.75			
3 ZWIR O UZIARNIENIU 100 MM	M3	1.2710	79.438	21.68		1722.22	292.78	
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	2	917.47		RAZEM :	429.75	1722.22	292.78	0.00
CNR 2-01 032002A	1	M3	168.9000					
WYKONANIE ZLOZA ROZPROW. I ZBIERAJACEGO /ZWIR O SR. 25-30 MM/								
4 ROBOCIZNA	R-G	1.5280	258.079	4.50	1161.36			
4 ZWIR O UZIARNIENIU 25-30 MM	M3	1.2710	214.672	31.17		6691.33	1137.53	
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	10	267.72		RAZEM :	1161.36	6691.33	1137.53	0.00
CNR 2-02 060903	1	M2	372.4200					
IZOLACJE CIEPLNE I PRZECIWDZWIEKOWE POZIOME NA WIERZCHU KONSTRUKCJI Z PLYT STYROPIANOWYCH								
GR. 5 CM NA SUCHO								
4 ROBOCIZNA	R-G	0.0891	33.183	4.50	149.32			
4 PLYTY STYROPIANOWE GR. 5 CM	M2	1.0500	391.041	5.89		2303.23	391.55	
4 MATERIALY POMOCNICZE	%	1.5000				34.55	5.87	
4 WYCIAG	M-G	0.0032	1.192	3.90				4.65
4 SRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0047	1.750	24.39				42.68
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	3	148.17		RAZEM :	149.32	2337.78	397.42	47.33
CNR 2-02 060702	1	M2	744.8400					
IZOLACJA WILGOTNOSCIOWA Z FOLII IGIELITOWEJ /2 WARSTWY/								
4 ROBOCIZNA	R-G	0.1633	121.632	4.50	547.34			
4 FOLIA IGIELITOWA	M2	1.3000	968.292	6.81		6594.07	1120.99	
4 MATERIALY POMOCNICZE	%	1.5000				98.91	16.81	
4 SRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0005	0.372	24.39				9.07
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	8	999.24		RAZEM :	547.34	6692.98	1137.80	9.07
NR 2-20 011005	SZT.		78.0000					
LOZENIE TYPOWYCH LUPIN Z WYPELNIENIEM SZCZELIN ZAPRAWA								
4 ROBOCIZNA	R-G	1.4611	113.966	4.50	512.85			
4 LUPINY O SZER. 1,8 M	SZT.	1.0000	78.000	60.29		4702.62	799.45	
4 LEPIK ASFALTOWY STOSOWANY NA GORACO	KG	3.0000	234.000	0.71		166.14	28.24	
4 EMULSJA ASFALTOWA IZOLACYJNA	KG	0.5000	39.000	1.64		63.96	10.87	
4 ZAPRAWA CEMENTOWA MARKI 5	DM3	4.0000	312.000	0.10		31.20	5.30	
4 MATERIALY POMOCNICZE	%	2.2000				109.21	18.57	
4 ZURAW SAMOJEZDNY KOLOWY 5 T	M-G	0.3200	24.960	29.81				744.06
4 KOCIOL DO GOTOWANIA LEPIKU O POJ.50-100 DM	M-G	0.2700	21.060	0.84				17.69

-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.	ILOSC	17.00%			
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ			CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIAŁOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC			SPRZET
8 SAMOCHOD SKRZYNIOWY DO 5 T	M-G	0.3100	24.180	24.39		589.75
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	9 850.71		RAZEM :	512.85	5073.13	862.43 1351.50
KNR 2-01 032002	1 M3		122.9200			
RECZNE OBSYPANIE WYMIENNIKA ZIEMIA /ANALOGIA/						
4 ROBOCIZNA	R-G	1.2224	150.257	4.50	676.16	
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	1 419.94		RAZEM :	676.16	0.00	0.00 0.00
K O S Z T Y B E Z P O S R E D N I E (Kb)			4062.35	22517.42	3827.95	5898.94
K o s z t y p o s r e d n i e (Kp)			75.00%	3046.76		4424.21
Z Y S K (Kb+Kp) R=20.0% M= 0.0% Kz= 0.0% S=20.0%			1421.82	0.00	0.00	2064.63
S U M A			8530.93	22517.42	3827.95	12387.78
R A Z E M				47 264.08 zl		
D o z a p l a t y				47 264.08 zl		

5. WYMIENNIK TYP B - CALKOW. ZAGLEBIONY

STRUMIEN POWIETRZA 25000 M3/H

KNR 2-01 020302	1 M3		294.8100			
WYKOPY W GRUNCIE KAT.III KOPARKAMI PODSIEBIERNYMI O POJEMNOSCI LYZKI 0.25 M3, Z TRANSPORTEM						
UROBKU SAMOCHODAMI NA ODL.DO 1 KM						
4 ROBOCIZNA	R-G	0.4205	123.968	4.50	557.86	
3 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	28.891	28.78		831.48
2 SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	3.567	34.77		124.02
6 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	57.783	28.52		1647.97
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	6 638.78		RAZEM :	557.86	0.00	0.00 2603.47
KNR 2-01 020805	1 M3		294.8100			
DODATEK ZA KAZDE DALSZE ROZPOCZETE 0.5 KM ODLEGLOSCI PONAD 1 KM TRANSPORTU GRUNTU						
KAT.III-IV PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0.5 KM -						
RAZEM ODLEGL. 10 KM/						
KR=18.000 KM=18.000 KS=18.000						
6 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	100.294	28.52		2860.38
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	6 006.80		RAZEM :	0.00	0.00	0.00 2860.38
KNR 2-01 021702	1 M3		144.3900			
WYKOPY ORAZ PRZEKOPY GLEBOKOSCI DO 2.5 M W GRUNCIE KAT.III WYKONYWANE NA ODKLAD KOPARKAMI						
PODSIEBIERNYMI O POJEMNOSCI LYZKI 0.25 M3						
4 ROBOCIZNA	R-G	0.2670	38.552	4.50	173.48	
3 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0572	8.259	28.78		237.69
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	863.46		RAZEM :	173.48	0.00	0.00 237.69

WYMIENNIKI TYPU A,B,C											
PODSTAWA WYCENY			J.M.	ILOSC		17.00%					
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ											
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIALOW I SPRZETU			J.M.	NORMA	ILOSC		CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU	SPRZET
NR 2-01 020302			1 M3		231.4000						
PRZYWOZ ZLOZA WLASCIWEGO, ROZPROW. I ZBIERAJACEGO Z ODLEGLOSCI 1 KM /ANALOGIA/											
ROBOCIZNA			R-G	0.4205	97.304	4.50	437.87				
KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3			M-G	0.0980	22.677	28.78					652.64
SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)			M-G	0.0121	2.800	34.77					97.36
SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T			M-G	0.1960	45.354	28.52					1293.50
osc pozycji wraz z narzutami (zl):			5	210.86		RAZEM :	437.87	0.00	0.00		2043.50
NR 2-01 020805			1 M3		231.4000						
DODATEK ZA KAZDE DALSZE ROZPOCZETE 0.5 KM ODLEGLOSCI PONAD 1 KM TRANSPORTU CALEGO ZLOZA											
PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0,5 KM - RAZEM 10 KM/											
R=38.000 KM=38.000 KS=38.000											
SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T			M-G	0.7182	166.191	28.52					4739.77
osc pozycji wraz z narzutami (zl):			9	953.52		RAZEM :	0.00	0.00	0.00		4739.77
NR 2-01 032002A			1 M3		62.5000						
WYKONANIE ZLOZA WLASCIWEGO /ZWIR O SR.25-30 MM/											
ROBOCIZNA			R-G	1.5280	95.500	4.50	429.75				
ZWIR O UZIARNIENIU 100 MM			M3	1.2710	79.438	21.68		1722.22	292.78		
osc pozycji wraz z narzutami (zl):			2	917.47		RAZEM :	429.75	1722.22	292.78		0.00
NR 2-01 032002A			1 M3		168.9000						
WYKONANIE ZLOZA ROZPROW. I ZBIERAJACEGO /ZWIR O SR.25-30 MM/											
ROBOCIZNA			R-G	1.5280	258.079	4.50	1161.36				
ZWIR O UZIARNIENIU 25-30 MM			M3	1.2710	214.672	31.17		6691.33	1137.53		
osc pozycji wraz z narzutami (zl):			10	267.72		RAZEM :	1161.36	6691.33	1137.53		0.00
NR 2-02 060903			1 M2		343.5600						
ZOLACJE CIEPLNE I PRZECIWDZWIEKOWE POZIOME NA WIERZCHU KONSTRUKCJI Z PLYT STYROPIANOWYCH											
R. 5 CM NA SUCHO											
ROBOCIZNA			R-G	0.0891	30.611	4.50	137.75				
PLYTY STYROPIANOWE GR. 5 CM			M2	1.0500	360.738	5.89		2124.75	361.21		
MATERIALY POMOCNICZE			%	1.5000				31.87	5.42		
WYCIAG			M-G	0.0032	1.099	3.90					4.29
SRODEK TRANSPORTOWY			M-G	0.0047	1.615	24.39					39.39
osc pozycji wraz z narzutami (zl):			2	904.25		RAZEM :	137.75	2156.62	366.63		43.68
NR 2-02 060702			1 M2		687.1200						
ZOLACJA WILGOTNOSCIOWA Z FOLII IGIELITOWEJ /2 WARSTWY/											
ROBOCIZNA			R-G	0.1633	112.207	4.50	504.93				

-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.		ILOSC			17.00%	
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ				CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY	K. ZAKUPU SPRZET
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIALOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC				

3 FOLIA IGIELITOWA	M2	1.3000	893.256	6.81		6083.07	1034.12
2 MATERIAŁY POMOCNICZE	%	1.5000				91.25	15.51
3 SRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0005	0.344	24.39			8.39
.....							
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	8	301.93		RAZEM :	504.93	6174.32	1049.63 8.39

KNR 2-20 011005 SZT. 78.0000

UŁOZENIE TYPOWYCH LUPIN Z WYPEŁNIENIEM SZCZELIN ZAPRAWA

4 ROBOCIZNA	R-G	1.4611	113.966	4.50	512.85		
5 LUPINY O SZER. 1,8 M	SZT.	1.0000	78.000	60.29		4702.62	799.45
3 LEPIK ASFALTOWY STOSOWANY NA GORACO	KG	3.0000	234.000	0.71		166.14	28.24
8 EMULSJA ASFALTOWA IZOLACYJNA	KG	0.5000	39.000	1.64		63.96	10.87
4 ZAPRAWA CEMENTOWA MARKI 5	DM3	4.0000	312.000	0.10		31.20	5.30
2 MATERIAŁY POMOCNICZE	%	2.2000				109.21	18.57
1 ZURAW SAMOJEZDNY KOŁOWY 5 T	M-G	0.3200	24.960	29.81			744.06
1 KOCIOL DO GOTOWANIA LEPIKU O POJ.50-100 DM	M-G	0.2700	21.060	0.84			17.69
8 SAMOCHOD SKRZYNIOWY DO 5 T	M-G	0.3100	24.180	24.39			589.75
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	9 850.71		RAZEM :	512.85	5073.13	862.43	1351.50

KNR 2-01 032002 1 M3 144.3900

RECZNE OBSYPANIE WYMIENNIKA ZIEMIA /ANALOGIA/

4 ROBOCIZNA	R-G	1.2224	176.502	4.50	794.26		
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	1 667.95		RAZEM :	794.26	0.00	0.00	0.00

K O S Z T Y B E Z P O S R E D N I E (Kb)	4710.10	21817.60	3708.99	13888.43
K o s z t y p o s r e d n i e (Kp) 75.00%	3532.57			10416.32
Z Y S K (Kb+Kp) R=20.0% M= 0.0% Kz= 0.0% S=20.0%	1648.53	0.00	0.00	4860.95
S U M A	9891.20	21817.60	3708.99	29165.70
R A Z E M	64 583.49 zł			
D o z a p l a t y	64 583.49 zł			

6. WYMIENNIK TYPU C - PRZY SKARPIE

STRUMIEN POWIETRZA 25000 M3/H

KNR 2-01 020302 1 M3 270.4100

PRZYWOZ GRUNTU Z ODLEGŁOŚCI 1 KM /ANALOGIA/

4 ROBOCIZNA	R-G	0.4205	113.707	4.50	511.68		
3 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	26.500	28.78			762.67
2 SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	3.272	34.77			113.77
6 SAMOCHOD SAMOWYŁADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	53.000	28.52			1511.56
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	6 089.33		RAZEM :	511.68	0.00	0.00	2388.00

KNR 2-01 020805 1 M3 270.4100

DODATEK ZA KAZDE DALSZE ROZPOCZĘTE 0.5 KM ODLEGŁOŚCI PONAD 1 KM TRANSPORTU GRUNTU

KAT.III-IV PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0.5 KM -

RAZEM ODLEGL. 10 KM/

-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

PODSTAWA WYCENY	J.M.	ILOSC	17.00%			
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ				CENA	ROBOCIZNA	MATERIALY
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIALOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	ILOSC			K. ZAKUPU
						SPRZET

KR=18.000 KM=18.000 KS=18.000

6 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	91.993	28.52		2623.64
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	5 509.64		RAZEM :	0.00	0.00	0.00
						2623.64

KNR 2-01 020302 1 M3 240.4000
 PRZYWOZ ZLOZA WLASCIWEGO, ROZPROW. I ZBIERAJACEGO Z ODLEGLOSCI 1 KM /ANALOGIA/

4 ROBOCIZNA	R-G	0.4205	101.088	4.50	454.90	
3 KOPARKA GASIENNICOWA 0.25 M3	M-G	0.0980	23.559	28.78		678.03
2 SPYCHARKA GASIENNICOWA 74 KW (100 KM)	M-G	0.0121	2.909	34.77		101.15
6 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.1960	47.118	28.52		1343.81
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	5 413.58		RAZEM :	454.90	0.00	0.00
						2122.99

KNR 2-01 020805 1 M3 240.4000
 DODATEK ZA KAZDE DALSZE ROZPOCZETE 0.5 KM ODLEGLOSCI PONAD 1 KM TRANSPORTU CALEGO ZLOZA
 PO DROGACH UTWARDZONYCH - SAMOCHODEM DO 5 T /DALSZE 18 ODCINKOW PO 0,5 KM - RAZEM 10 KM/

KR=18.000 KM=18.000 KS=18.000

6 SAMOCHOD SAMOWYLADOWCZY DO 5 T	M-G	0.3402	81.784	28.52		2332.48
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	4 898.21		RAZEM :	0.00	0.00	0.00
						2332.48

KNR 2-01 032002A 1 M3 66.5000
 WYKONANIE ZLOZA WLASCIWEGO /ZWIR O SR.10 MM/

4 ROBOCIZNA	R-G	1.5280	101.612	4.50	457.25	
3 ZWIR O UZIARNIENIU 100 MM	M3	1.2710	84.522	21.68	1832.44	311.51
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	3 104.18		RAZEM :	457.25	1832.44	311.51
						0.00

KNR 2-01 032002A 1 M3 173.9000
 WYKONANIE ZLOZA ROZPROW. I ZBIERAJACEGO /ZWIR O SR. 25-30 MM/

4 ROBOCIZNA	R-G	1.5280	265.719	4.50	1195.74	
3 ZWIR O UZIARNIENIU 25-30 MM	M3	1.2710	221.027	31.17	6889.41	1171.20
osc pozycji wraz z narzutami (zl):	10 571.67		RAZEM :	1195.74	6889.41	1171.20
						0.00

KNR 2-02 060903 1 M2 716.2900
 IZOLACJE CIEPLNE I PRZECIWDZWIEKOWE POZIOME NA WIERZCHU KONSTRUKCJI Z PLYT STYROPIANOWYCH
 SR. 5 CM NA SUCHO

4 ROBOCIZNA	R-G	0.0891	63.821	4.50	287.19	
3 PLYTY STYROPIANOWE GR. 5 CM	M2	1.0500	752.104	5.89	4429.89	753.08
2 MATERIALY POMOCNICZE	%	1.5000			66.45	11.30
3 WYCIAG	M-G	0.0032	2.292	3.90		8.94
3 SRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0047	3.367	24.39		82.12

1-ABC)

WYMIENNIKI TYPU A,B,C

~K~

PODSTAWA WYCENY	J.M.	IŁOSC	17.00%			
OPIS POZYCJI KOSZTORYSOWEJ			CENA	ROBOCIZNA	MATERIAŁY	K. ZAKUPU
WYSZCZ. ROBOCIZNY MATERIAŁOW I SPRZETU	J.M.	NORMA	IŁOSC			SPRZET

Ilość pozycji wraz z narzutami (zł): 6 055.04 RAZEM : 287.19 4496.34 764.38 91.06

KNR 2-02 060702 1 M2 1432.5800

IZOLACJA WILGOTNOSCIOWA Z FOLII IGIELITOWEJ /2 WARSTWY/

04 ROBOCIZNA	R-G	0.1633	233.940	4.50	1052.73	
03 FOLIA IGIELITOWA	M2	1.3000	1862.354	6.81		12682.63 2156.05
02 MATERIAŁY POMOCNICZE	%	1.5000			190.24	32.34
00 ŚRODEK TRANSPORTOWY	M-G	0.0005	0.716	24.39		17.46

Ilość pozycji wraz z narzutami (zł): 17 308.67 RAZEM : 1052.73 12872.87 2188.39 17.46

KNR 2-20 011005 SZT. 78.0000

UŁOŻENIE TYPOWYCH ŁUPIN Z WYPEŁNIENIEM SZCZELIN ZAPRAWA

04 ROBOCIZNA	R-G	1.4611	113.966	4.50	512.85	
05 ŁUPINY O SZER. 1,8 M	SZT.	1.0000	78.000	60.29		4702.62 799.45
03 ŁEPIK ASFALTOWY STOSOWANY NA GORĄCO	KG	3.0000	234.000	0.71	166.14	28.24
08 EMULSJA ASFALTOWA IZOLACYJNA	KG	0.5000	39.000	1.64	63.96	10.87
04 ZAPRAWA CEMENTOWA MARKI 5	DM3	4.0000	312.000	0.10	31.20	5.30
02 MATERIAŁY POMOCNICZE	%	2.2000			109.21	18.57
01 ŻURAW SAMOJEZDNY KOŁOWY 5 T	M-G	0.3200	24.960	29.81		744.06
01 KOCIOL DO GOTOWANIA ŁEPIKU O POJ.50-100 DM	M-G	0.2700	21.060	0.84		17.69
08 SAMOCHOD SKRZYNIOWY DO 5 T	M-G	0.3100	24.180	24.39		589.75

Ilość pozycji wraz z narzutami (zł): 9 850.71 RAZEM : 512.85 5073.13 862.43 1351.50

KNR 2-01 032002 1 M3 270.4100

RECZNE OBSYPANIE WYMIENNIKA ZIEMIĄ /ANALOGIA/

04 ROBOCIZNA	R-G	1.2224	330.549	4.50	1487.47	
Ilość pozycji wraz z narzutami (zł):	3 123.68	RAZEM :	1487.47	0.00	0.00	0.00

K O S Z T Y B E Z P O S R E D N I E (Kb)			5959.82	31164.19	5297.91	10927.16
K o s z t y p o s r e d n i e (Kp)			75.00%	4469.87		8195.37
Z Y S K (Kb+Kp)	R=20.0%	M= 0.0%	Kz= 0.0%	S=20.0%	2085.94	0.00 0.00 3824.51
S U M A			12515.63	31164.19	5297.91	22947.04
R A Z E M				71 924.77 zł		
D o z a p ł a t y				71 924.77 zł		

