

*Urszula Kossowska-Cezak*

WPŁYW DUŻEGO KOMPLEKSU ZIELENI MIEJSKIEJ  
NA WARUNKI TERMICZNO-WILGOTNOŚCIOWE  
(NA PRZYKŁADZIE WARSZAWSKIEGO OGRODU  
ZOOLOGICZNEGO)

WPROWADZENIE

Zakład Klimatologii Instytutu Geografii Uniwersytetu Warszawskiego prowadził w latach 1971—75 badania wpływu zieleni miejskiej na klimat, a szczególnie na warunki termiczno-wilgotnościowe. Badaniami tymi objęto kilka obiektów zieleni w Warszawie, w tym również Ogród Zoologiczny.

Na badania warunków termiczno-wilgotnościowych ZOO złożyła się 23-miesięczna (od listopada 1973 do września 1975) seria obserwacji meteorologicznych prowadzonych na standardowej stacji zlokalizowanej na terenie ZOO oraz dwie serie pomiarów na zagęszczonych punktach obserwacyjnych, tzw. obserwacji alertowych. Pierwsza z nich, z lipca 1973, objęła pomiary na 5 stanowiskach reprezentujących różne warunki w obrębie obiektu zieleni: zwartą i wysoką roślinność (p. 2 i 4), luźno rosnące drzewa (p. 3) i otwarte trawniki (p. 1 i 5) (fig. 1). Pomiary prowadzono psychrometrem Assmanna na poziomach 0,25 i 1,50 m nad powierzchnią gruntu 11 razy w ciągu dnia (od godz. 7 do 20.30) przez 23 dni. Seria obserwacyjna z lipca 1974 liczyła tylko 5 dni. Pomiary wykonywano w tych samych miejscach co w roku poprzednim i dodatkowo w punkcie usytuowanym nad powierzchnią betonową w pobliżu basenów z wodą (p. 6). Ze względu na niesprzyjające warunki pogodowe, powodujące liczne przerwy w pomiarach, seria ta przedstawia znacznie mniejszą wartość niż seria z roku poprzedniego i ma tylko znaczenie uzupełniające. Ponadto w lipcu 1975 obserwacje alertowe prowadzono na terenie Parku Praskiego 15 razy dziennie w ciągu 8 dni. Aczkolwiek krótka, seria ta wnosi cenne informacje na temat kształ-

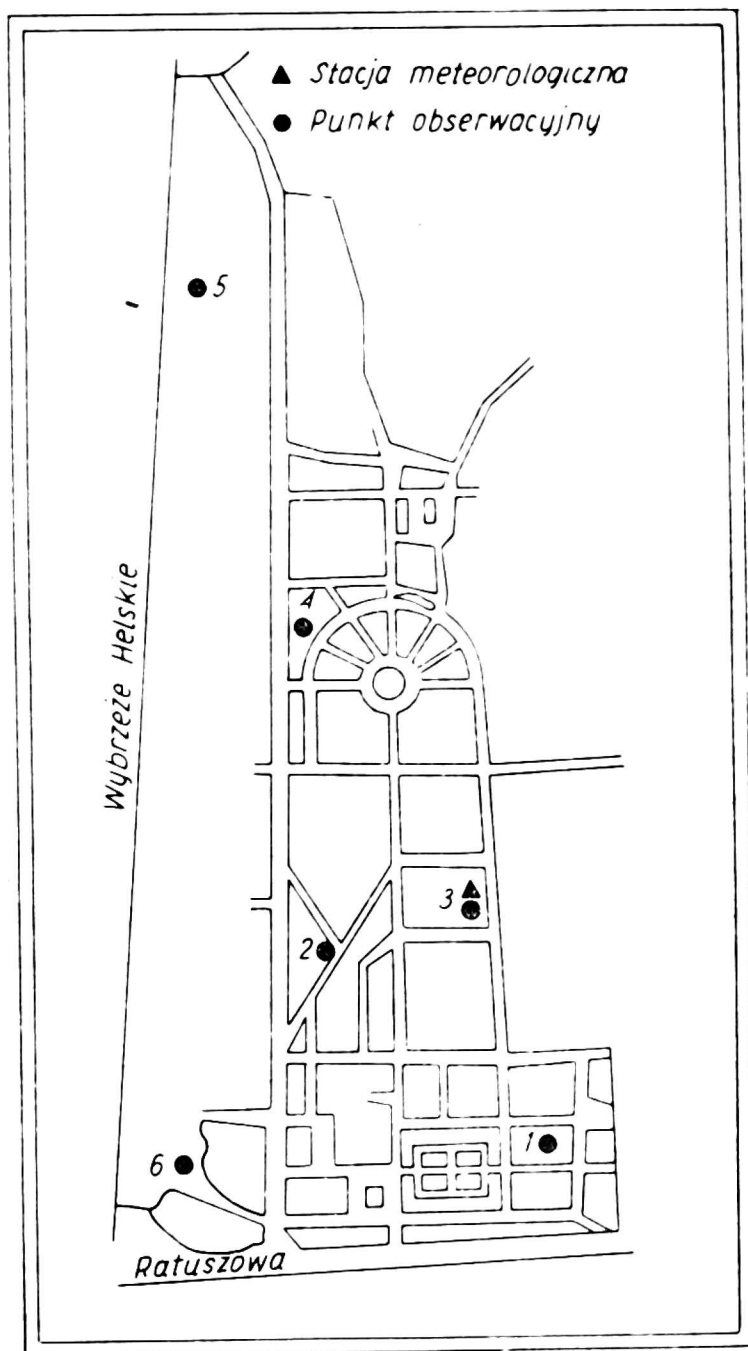


Fig. 1

Rozmieszczenie punktów obserwacyjnych na terenie ZOO

Distribution of observation points in the Warszawa ZOO

towania się temperatury i wilgotności powietrza na skraju obiektu zieleni (fig. 2).

Ogród Zoologiczny w Warszawie leży w pasmie terenów zieleni ciągnących się wzdłuż niskiego, prawego brzegu Wisły. Oddzielony jest od Wisły od strony pd-zach. kilkudziesięciometrowym pasem plaży i niezabudowaną ulicą (Wybrzeże Helskie). Od strony przeciwnej, pn-wsch., do ZOO przylega obszar dość zwartej zabudowy. Leżący na pd-wsch. od ZOO Park Praski stanowi praktycznie dalszą część tego samego kom-

pleksu, bowiem jest oddzielony od ZOO tylko niezabudowaną na tym odcinku ulicą Ratuszową. Również w obu tych obiektach podobny jest charakter roślinności: znaczny udział rozrośniętych starych drzew, skupiska mniejszych drzew i krzewów oraz otwarte trawniki. Ponadto w ZOO znajdują się zbiorniki wodne — baseny dla zwierząt i ptactwa wodnego.

#### PORÓWNANIE WARUNKÓW TERMICZNO-WILGOTNOŚCIOWYCH DUŻEGO KOMPLEKSU ZIELENI I ZABUDOWY MIEJSKIEJ

W celu stwierdzenia charakteru i wielkości oddziaływania dużego kompleksu zieleni, jaki stanowi ZOO, na temperaturę i wilgotność po-

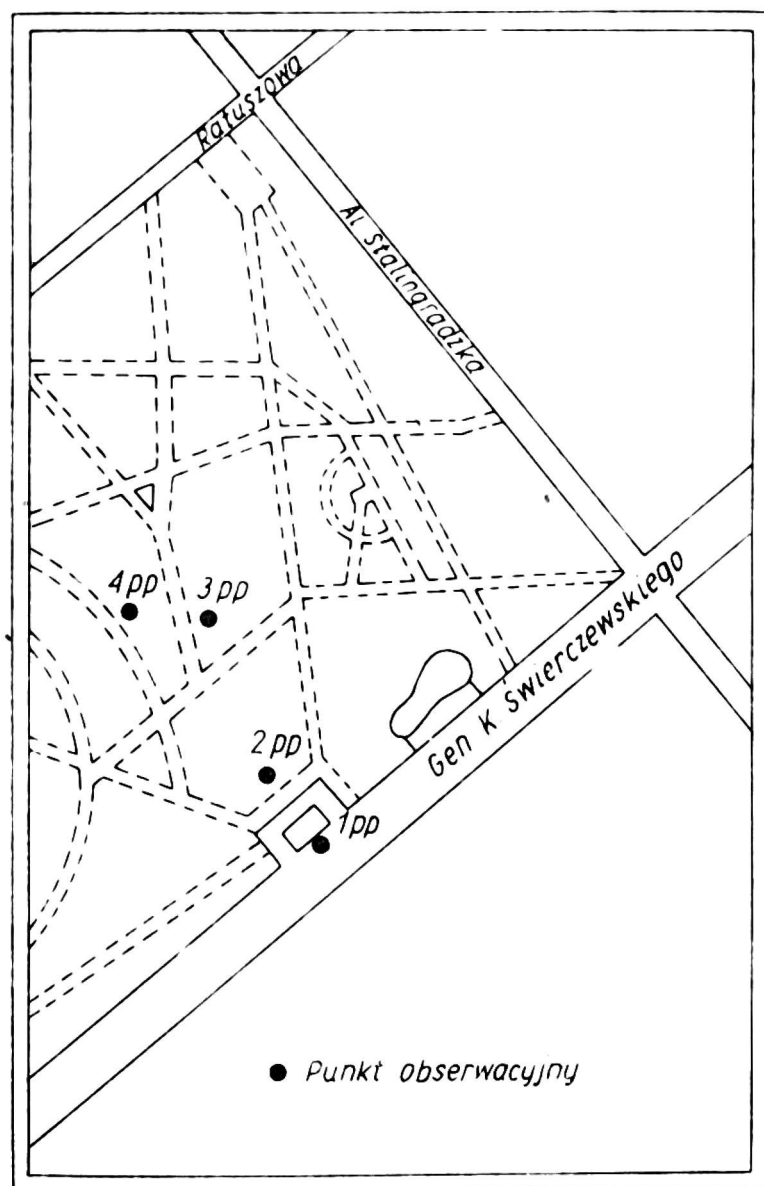


Fig. 2  
Rozmieszczenie punktów obserwacyjnych na  
terenie Parku Praskiego  
Distribution of observation points in Praga  
Park

wietrza dokonano porównania tych elementów meteorologicznych dla dwóch stacji: z terenu ZOO oraz położonej wśród zwartej zabudowy miejskiej na terenie Uniwersytetu Warszawskiego.

### Temperatura powietrza

W ciągu całego okresu obserwacyjnego (od listopada 1973 do września 1975) średnia temperatura w ZOO okazała się niższa w porównaniu ze śródmieściem (UW): o  $0,6\text{--}0,9^{\circ}\text{C}$  w okresach od lipca do września i o  $0,3\text{--}0,6^{\circ}\text{C}$  w pozostałych miesiącach (fig. 3).

W chłodnych okresach roku (listopad 1973 — styczeń 1974, październik 1974 — luty 1975) wśród zieleni utrzymuje się niższa temperatura w ciągu całej doby. W pozostałych porach roku zróżnicowanie termiczne między terenem zieleni a zabudowanym wykazuje zmiany dobowe: największe różnice na niekorzyść zieleni przypadają na godziny nocne (o godz. 1 i nawet do  $2^{\circ}\text{C}$ ), gdy w ciągu dnia w obu rodzajach terenu temperatura jest podobna lub nawet wśród roślinności nieco wyższa (fig. 3). Nocne wychłodzenie i dzienne przegrzanie w terenie zieleni najsilniej przejawia się w najcieplejszych, pogodnych, letnich miesiącach (sierpień 1974, lipiec i sierpień 1975).

Wahania dobowe temperatury powietrza wśród roślinności są nie tylko większe, ale też zachodzą szybciej niż pośród zabudowy. Uwidacznia się to w wartościach różnic temperatury między godzinami 1 i 19 oraz między 7 i 1 na obydwu porównywanych stacjach: ZOO i UW (fig. 4). Od godz. 19 do 1 temperatura spada na obydwu stacjach: w okresie zimy w podobnym stopniu, natomiast w lecie spadek temperatury w ZOO jest wyraźnie większy.

Podczas większości miesięcy (20 na 23) od godz. 1 do 7 na UW występuje spadek temperatury, największy w okresach przejściowych. Mały spadek w miesiącach zimowych jest związany z w ogóle niewielkimi wahaniami dobowymi w tym okresie, natomiast w lecie termin porannego pomiaru (godz. 7) przypada na kilka godzin po wschodzie słońca, gdy następuje już wyraźny wzrost temperatury. W związku z tym wartość z godz. 7 nieznacznie różni się już od występującej o godz. 1, a w niektórych miesiącach nawet ją przewyższa (maj i czerwiec 1974, maj 1975). W ZOO spadek temperatury od godz. 1 do 7 występuje tylko od września do marca, natomiast w pozostałym okresie roku w tych godzinach temperatura wzrasta. Szczególnie duże różnice pomiędzy UW i ZOO występują w ciepłym lipcu 1975: od godz. 1 do 7 wśród zabudowy temperatura spada o  $0,4^{\circ}\text{C}$ , gdy w tym samym czasie wśród zieleni wzrasta o  $1,8^{\circ}\text{C}$ .

To opóźnienie przebiegu dobowego temperatury w terenie zabudo-

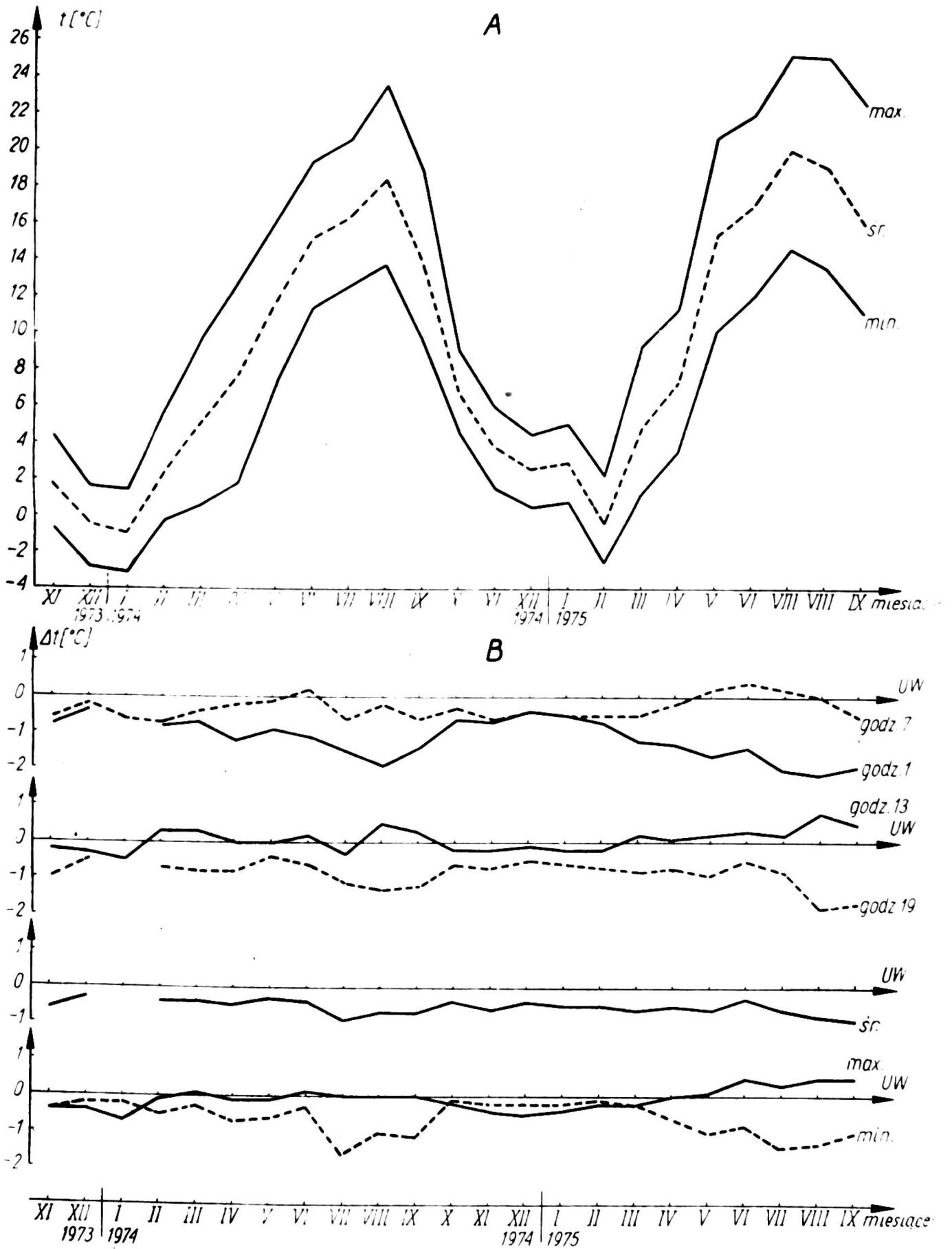


Fig. 3

Przebieg temperatury w ZOO (A) oraz średnich różnic temperatury między stacjami UW i ZOO (B). Listopad 1973 — wrzesień 1975  
 Course of air temperature in ZOO (A) and of mean temperature differences between University station and ZOO. November 1973 to September 1975

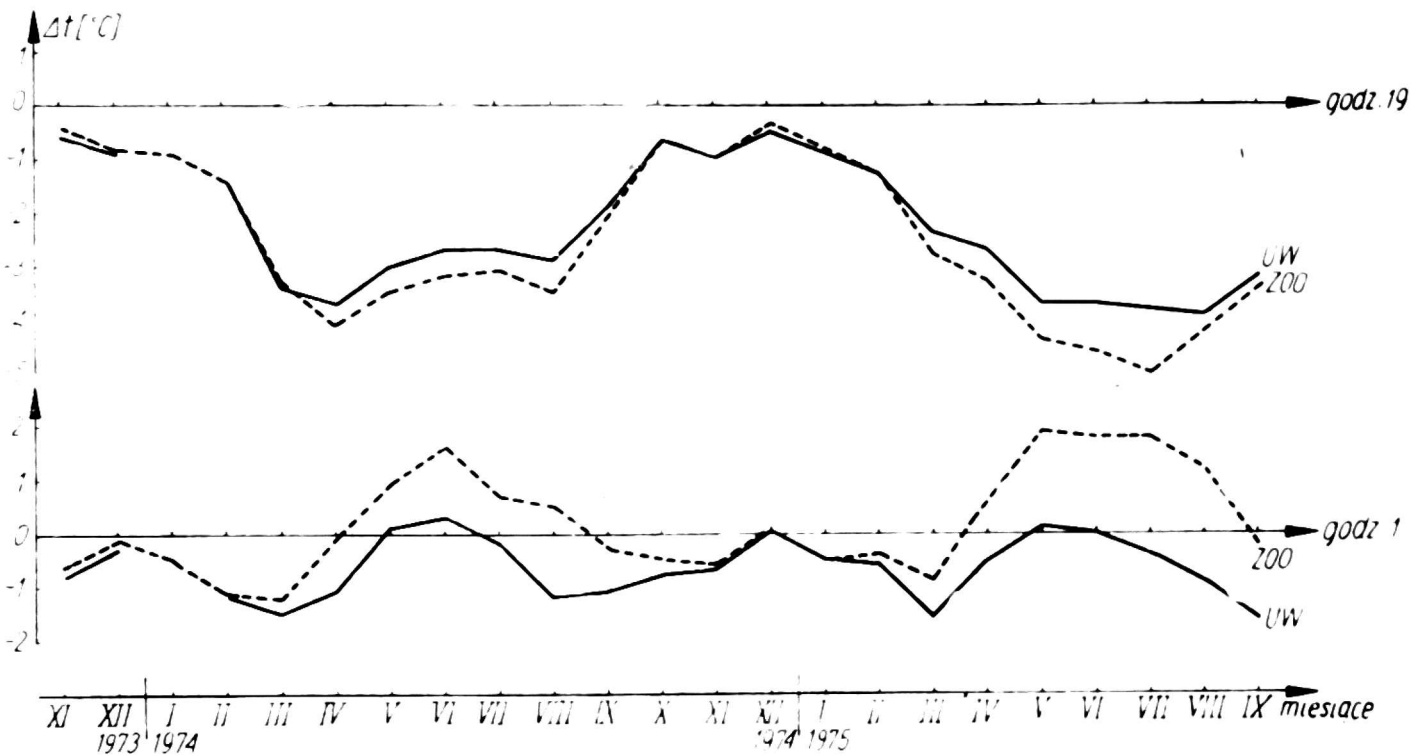


Fig. 4

Przebieg średnich różnic temperatury między godziną 1 i 19 oraz między godziną 7 i 1 na stacjach UW i ZOO. Listopad 1973 — wrzesień 1975

Course of mean temperature differences between 1 a.m. and 7 p.m. and between 7 a.m. and 1 a.m. at University station and ZOO. November 1973 to September 1975

wanym znajduje także odbicie w wartościach ekstremalnych (fig. 3). Temperatury maksymalne na UW są podobne jak w ZOO lub niższe, minimalne wyraźnie wyższe, lecz różnice między temperaturami skrajnymi na UW i ZOO są z reguły mniejsze niż między temperaturami z poszczególnych terminów obserwacyjnych.

Reasumując można stwierdzić, że duży kompleks zieleni działa ochładzająco, lecz oddziaływanie to kształtuje się inaczej w chłodnym i ciepłym okresie roku. W chłodnych miesiącach różnica temperatury na niekorzyść terenu zieleni może być wyjaśniona ocieplającym wpływem zabudowy, poza którego zasięgiem leży ZOO. Zimowy wzrost temperatury w śródmieściu jest związany przede wszystkim z dopływem ciepła z tzw. sztucznych źródeł, co tłumaczy utrzymywanie się zaobserwowanej różnicy w ciągu całej doby.

W lecie na warunki termiczne rzutują właściwości cieplne podłoża. Materiały budowlane w ciągu dnia wolniej się nagrzewają, w nocy zaś wolniej ochładzają niż podłoże pokryte roślinnością. Te właściwości są przyczyną szybszych zmian dobowych temperatury powietrza wśród zieleni, a także większego zakresu tych zmian, szczególnie zaś silniejszych nocnych spadków temperatury w porównaniu z terenem zabudowanym.

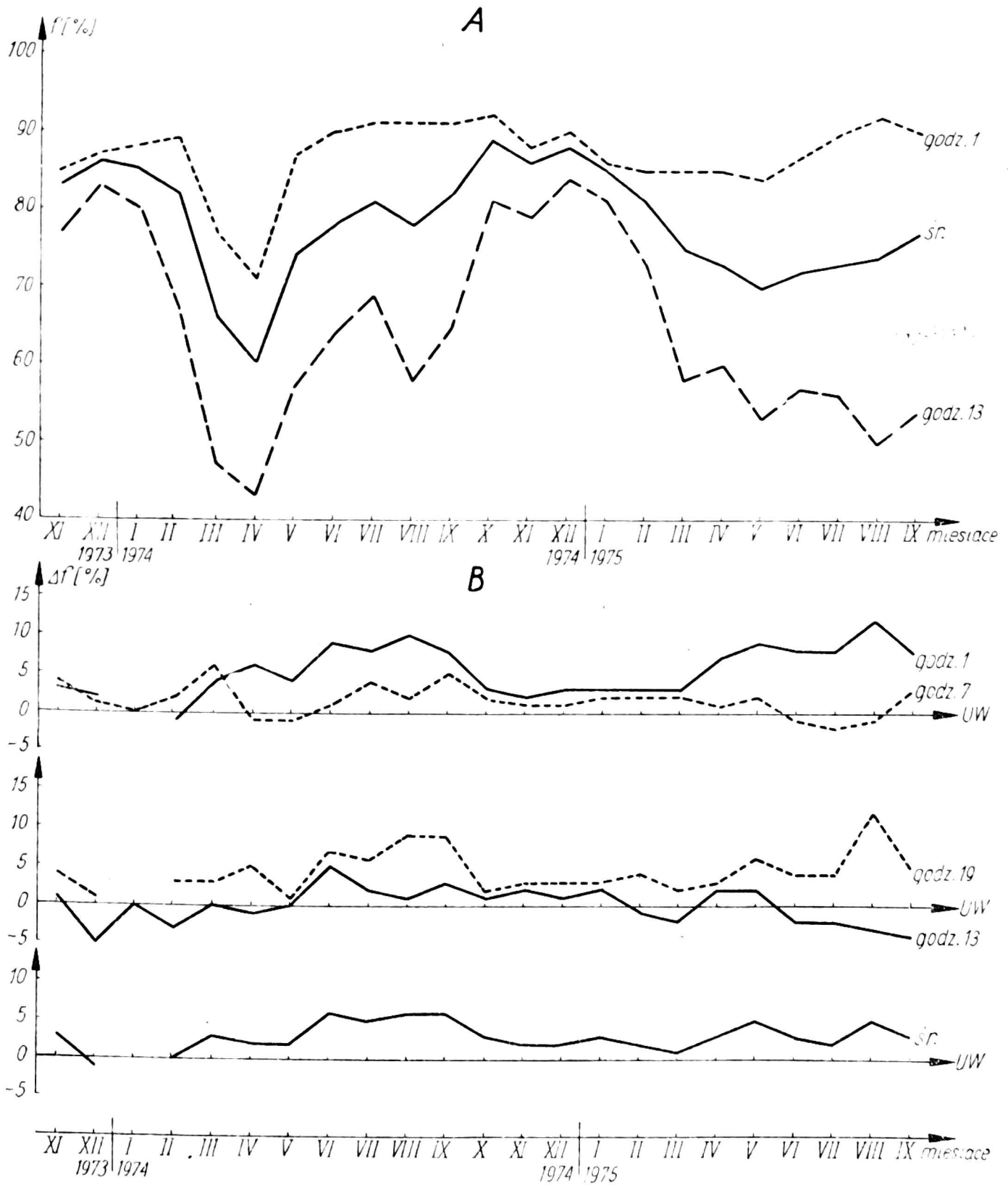


Fig. 5

Przebieg wilgotności względnej w ZOO (A) oraz średnich różnic wilgotności względnej między stacjami UW i ZOO (B). Listopad 1973 — wrzesień 1975  
 Course of relative humidity in ZOO (A) and of mean differences in relative humidity between University station and ZOO (B). November 1973 to September 1975

## Wilgotność powietrza

W okresie objętym badaniami średnia miesięczna wilgotność względna w ZOO przewyższa odpowiednią średnią na UW o 1 do 6%. Tylko w jednym miesiącu obie średnie są równe i w jednym miesiącu średnia miesięczna wilgotność w ZOO jest o 1% niższa (fig. 5). Wielkość zróżnicowania wilgotności względnej między obu obiektami zmienia się nieregularnie, ogólnie jednak można stwierdzić, że zróżnicowanie to jest mniejsze w sezonach chłodnych, zaś zwiększa się w okresach ciepłych roku, podobnie jak zróżnicowanie temperatury powietrza.

W przebiegu dobowym największe zróżnicowanie pomiędzy UW i ZOO pojawia się wieczorem i w nocy. W miesiącach letnich o godz. 1 różnica ta sięga 8—10%, podczas gdy w ciągu dnia jest znacznie mniejsza lub nawet wilgotność względna bywa niższa w ZOO niż na UW: o godz. 7 o 1—2%, o godz. 13 wyjątkowo nawet do 5%.

Zmiany wilgotności względnej w ciągu doby zachodzą wśród roślinności szybciej niż wśród zabudowy, podobnie jak zmiany temperatury. Szczególnie silnie zaznacza się poranny spadek wilgotności w miesiącach

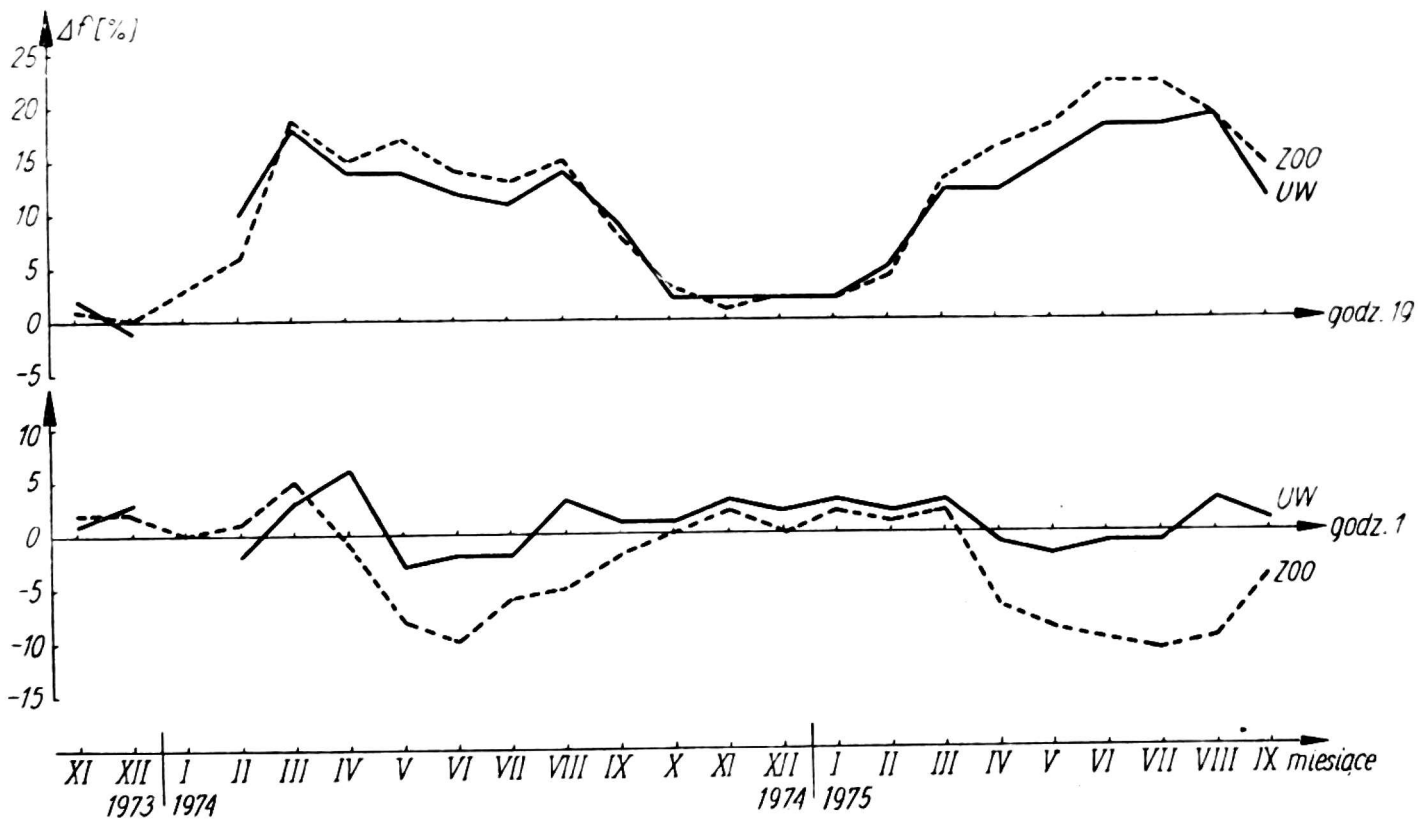


Fig. 6

Przebieg średnich różnic wilgotności względnej między godziną 1 i 19 oraz między godziną 7 i 1 na stacjach UW i ZOO. Listopad 1973 — wrzesień 1975

Course of mean differences in relative humidity between 1 a. m. and 7 p. m. and between 7 a. m. and 1 a. m. at University station and at ZOO. November 1973 to September 1975



letnich: w godzinach od 1 do 7 w ZOO sięga on w niektórych miesiącach 10%, gdy na UW najwyżej 3%. Pod koniec lata opóźnienie porannego spadku wilgotności wśród zabudowy jest najsilniejsze: w ZOO zaznacza się już bardzo wyraźnie, gdy na UW obserwuje się jeszcze słaby wzrost wilgotności względnej (fig. 6).

Ogólnie wyższa wilgotność względna w obrębie kompleksu zieleni związana jest zarówno z większą zawartością pary wodnej w wyniku transpiracji, jak i niższą temperaturą. Okresowe pojawianie się tu niższej wilgotności w godzinach rannych i — częściej — okołopołudniowych jest związane z szybszym nagrzewaniem się powietrza oraz z silniejszym jego mieszaniem się w porównaniu z obszarami zabudowanymi.

Różnice prężności pary wodnej pomiędzy UW i ZOO kształtują się w sposób nieregularny. W chłodniejszych okresach roku — od października do lutego — wartości średnie miesięczne na obu stacjach są równe lub w ZOO niższe o 0,1—0,2 mbar, natomiast w pozostałych, cieplejszych okresach roku w ZOO są wyższe, wyjątkowo do 0,8 mbar, ale w pojedynczych miesiącach także pojawiają się w ZOO wartości wyrównane lub niższe (fig. 7). Mimo nieregularności opisany przebieg zróżnicowania wskazuje na zwiększenie prężności pary wodnej w dużym obiekcie zieleni w ciepłym okresie roku.

Dobowy przebieg zróżnicowania między obydwoma obiektami, wyraźny w temperaturze i wilgotności względnej, w przypadku prężności pary wodnej jest trudno uchwytny. Zarówno największe, jak i najmniejsze zróżnicowanie przypada w poszczególnych miesiącach na różne pory dnia, lecz najczęściej największe różnice pojawiają się w ciągu dnia lub wieczorem (godz. 13 bądź 19), zaś najmniejsze różnice lub nawet w ZOO niższa prężność pary wodnej niż na UW — nad ranem (godz. 7).

Biorąc pod uwagę obydwie charakterystyki wilgotności powietrza można stwierdzić, że wpływ zieleni miejskiej na wilgotność ma charakter sezonowy i w dużej mierze jest związany z warunkami termicznymi. W chłodnym okresie roku, gdy roślinność jest pozbawiona liści, prężność pary wodnej nie wykazuje istotnych różnic między kompleksem zieleni a terenem zabudowanym, zaś nieznacznie wyższa wilgotność względna jest związana z nieco niższą temperaturą poza terenem zabudowanym. W okresie letnim, gdy roślinność osiąga największy rozwój i w procesie transpiracji oddaje atmosferze znaczne ilości pary wodnej, prężność pary w obiekcie zieleni jest z reguły wyższa niż między zabudowaniami; największe różnice występują w ciągu dnia lub wieczorem. Mimo wyższej prężności w godzinach okołopołudniowych, wilgotność względna może być wśród zieleni nieco niższa w porównaniu z terenem zabudowanym na skutek wyższej temperatury, natomiast

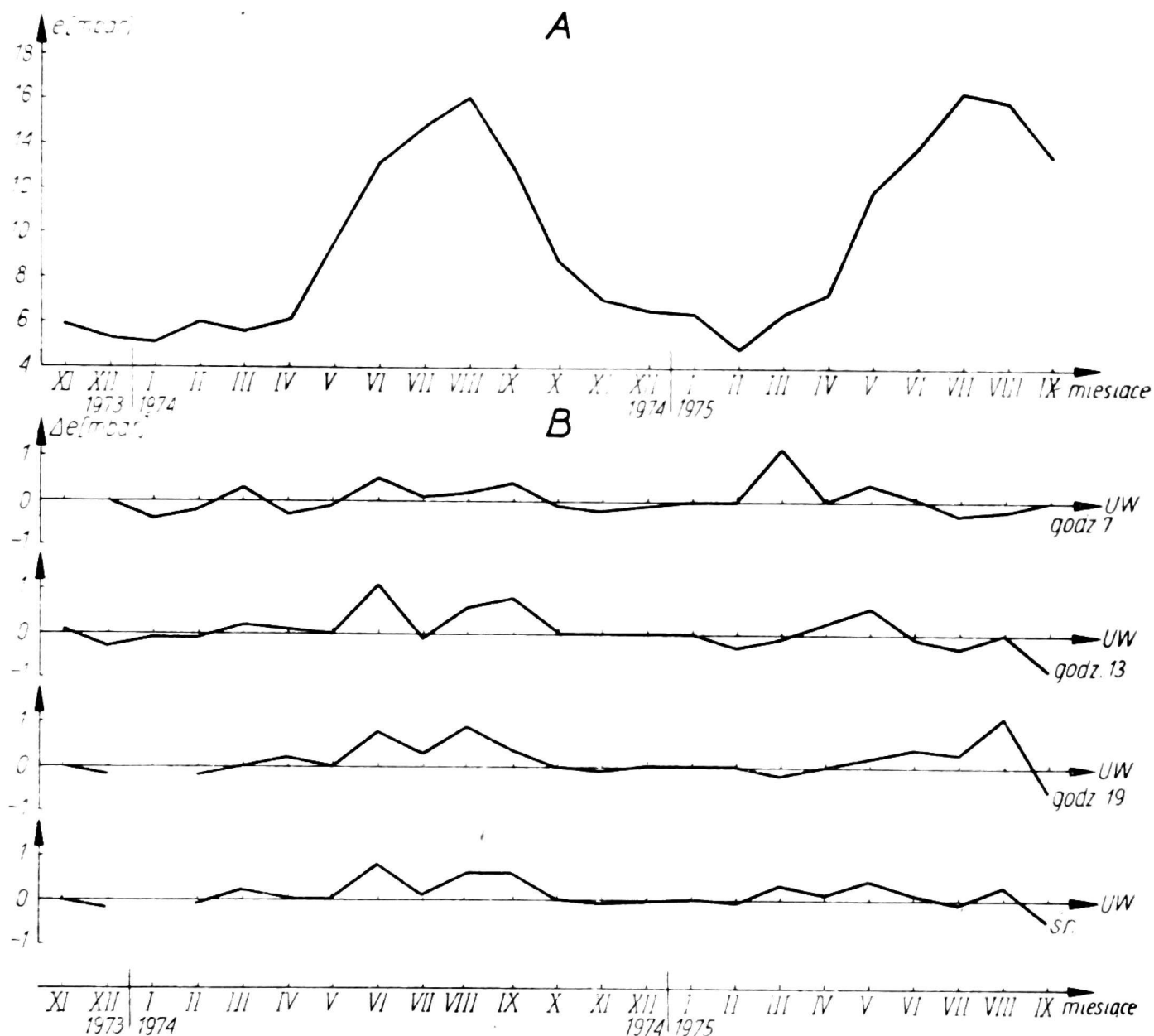


Fig. 7

Przebieg prężności pary wodnej w ZOO (A) oraz średnich różnic prężności pary wodnej między stacjami UW i ZOO (B). Listopad 1973 — wrzesień 1975

Course of vapour pressure at ZOO (A) and of mean differences of vapour pressure between University station and ZOO (B). November 1973 to September 1975

maksymalne zróżnicowanie wilgotności względnej między obydwoma rodzajami otoczenia pojawia się w godzinach nocnych, wraz z największymi różnicami temperatury.

#### ZRÓŻNICOWANIE WARUNKÓW TERMICZNO-WILGOTNOŚCIOWYCH NA TERENIE ZOO

Analiza różnic temperatury i wilgotności powietrza między ZOO i UW wykazała, że są one w chłodniejszym okresie roku, w przybliżeniu od października do lutego, niewielkie i nasilają się w pełni okresu we-

getacyjnego. Ponieważ w miesiącach letnich wpływ charakteru otoczenia na warunki termiczno-wilgotnościowe okazał się największy, do tego okresu roku ograniczono badania wewnątrz obiektu zieleni. Ze względów technicznych pomiary temperatury i wilgotności powietrza wykonywano tylko w ciągu dnia, od godz. 7 do 20.30, w odstępach godzinnych bądź dłuższych.

### Temperatura powietrza

Jak wspomniano na wstępie, punkty pomiarowe w ZOO (1973 i 1974 r.) i w Parku Praskim (1975 r.) usytuowano w miejscach reprezentujących różne warunki w obiekcie zieleni: p. 1 i 5 oraz 2PP i 4PP (PP — Park Praski) — odsłonięte trawniki, p. 3 — trawnik w bezpośrednim sąsiedztwie luźno rosnących drzew, p. 2 i 4 oraz 3PP — trawniki pod koronami drzew. Ponadto p. 6 znajdował się w obrębie terenu zieleni, lecz nad powierzchnią betonową, zaś p. 1PP nad betonem poza terenem zieleni.

Wyniki pomiarów z lipca 1973 wykazują, że w ciągu dnia najwyższą temperaturą odznaczają się otwarte trawniki, przy czym różnica w stosunku do miejsc zacienionych silniej zaznacza się na wysokości 0,25 m niż na 1,50 m i w godzinach 9—15 wynosi odpowiednio około 1,5 i 1,0°C. Wczesnym ranem i późnym popołudniem różnicowanie pomiędzy poszczególnymi stanowiskami pomiarowymi jest mniejsze, zaś w godzinach wieczornych sytuacja ulega odwróceniu, tzn. najcieplej jest pod koronami drzew, gdy powietrze nad otwartymi trawnikami ulega najsilniejszemu wychłodzeniu. Podobnie jak w ciągu dnia, tak i późnym wieczorem, kontrasty termiczne najsilniej zaznaczają się w pobliżu podłoża (0,25 m) i maleją w miarę wzrostu wysokości. O godz. 20.30 średnia różnica temperatury pomiędzy trawnikiem otoczonym drzewami o charakterze polany (p. 5) a miejscem pod zwartym okapem drzew (p. 2) na wysokości 0,25 m przekracza 2°C. Na trawniku pośród luźno rosnących drzew (p. 3) temperatura zachowuje wartości pośrednie pomiędzy występującymi nad otwartymi trawnikami i zacienionymi (na fig. 8 przebieg dzienny temperatury przedstawiono w postaci różnic pomiędzy p. 3 a punktami pozostałymi).

Spośród dwóch stanowisk położonych nad trawnikami wyższą temperaturą w ciągu dnia i wyraźnie niższą wieczorem na wysokości 0,25 m wyróżnia się p. 5, co jest zapewne związane z mniejszą przewiewnością tego miejsca. Natomiast z punktów zacienionych cieplejszy, szczególnie wieczorem, okazuje się p. 2, co należy tłumaczyć bliskością basenów z wodą, wywierających o tej porze wpływ ocieplający.

Wyniki obserwacji z roku 1974 potwierdzają opisany charakter zróż-

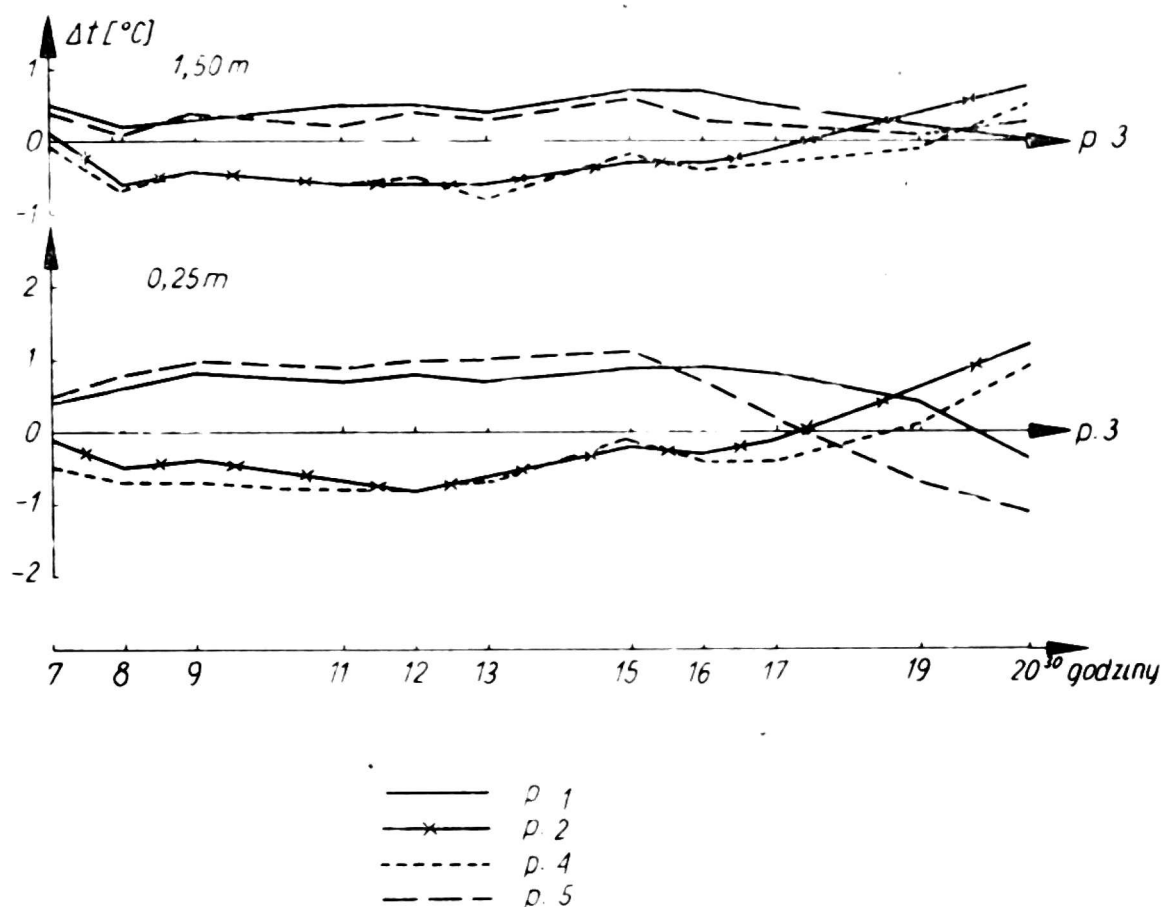


Fig. 8

Przebieg średnich różnic temperatury między punktami w ZOO a punktem 3. Lipiec 1973

Course of mean temperature differences between ZOO points and Point 3. July 1973

nicowania pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi. Jedynie, w odróżnieniu od roku poprzedniego, dość wysoką temperaturą (o ok.  $0,5^{\circ}\text{C}$  wyższą niż w p. 3 na obydwu poziomach) wyróżnia się p. 2, co dodatkowo potwierdza wniosek o ocieplającym oddziaływaniu zbiorników wodnych (fig. 9). W roku 1974 oddziaływanie to ujawniło się silniej, ponieważ pomiary przypadły na dni chłodne i pochmurne, poprzedzone okresem cieplejszej pogody. Również ciepły jest p. 6 usytuowany nad powierzchnią betonową. Utrzymywaniu się wyższej temperatury sprzyja tu zarówno charakter podłoża, jak i bliskość basenów wypełnionych wodą.

Pomiary wykonywane w roku 1975 w Parku Praskim potwierdziły zaobserwowane wcześniej prawidłowości: znaczne nagrzewanie się i wieczorne ochładzanie powietrza nad trawnikami (p. 4PP) przy bardziej wyrównanym przebiegu temperatury w miejscach zacienionych (p. 3 PP) (fig. 10). Przed południem temperatura wzrasta najsilniej nad otwartym trawnikiem na skraju kompleksu zieleni (p. 2PP), zaś od południa do końca dnia najwyższa temperatura utrzymuje się poza tym komplek-

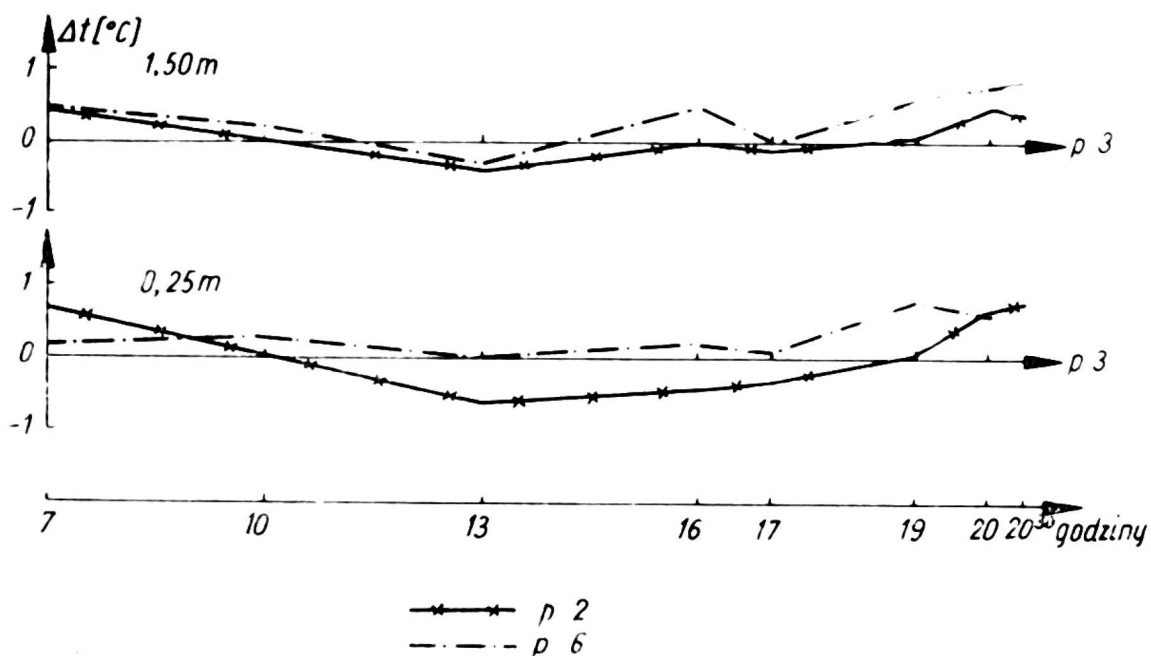


Fig. 9

Przebieg średnich różnic temperatury między wybranymi punktami w ZOO a punktem 3. Lipiec 1974

Course of mean temperature differences between selected ZOO points and Point 3. July 1974

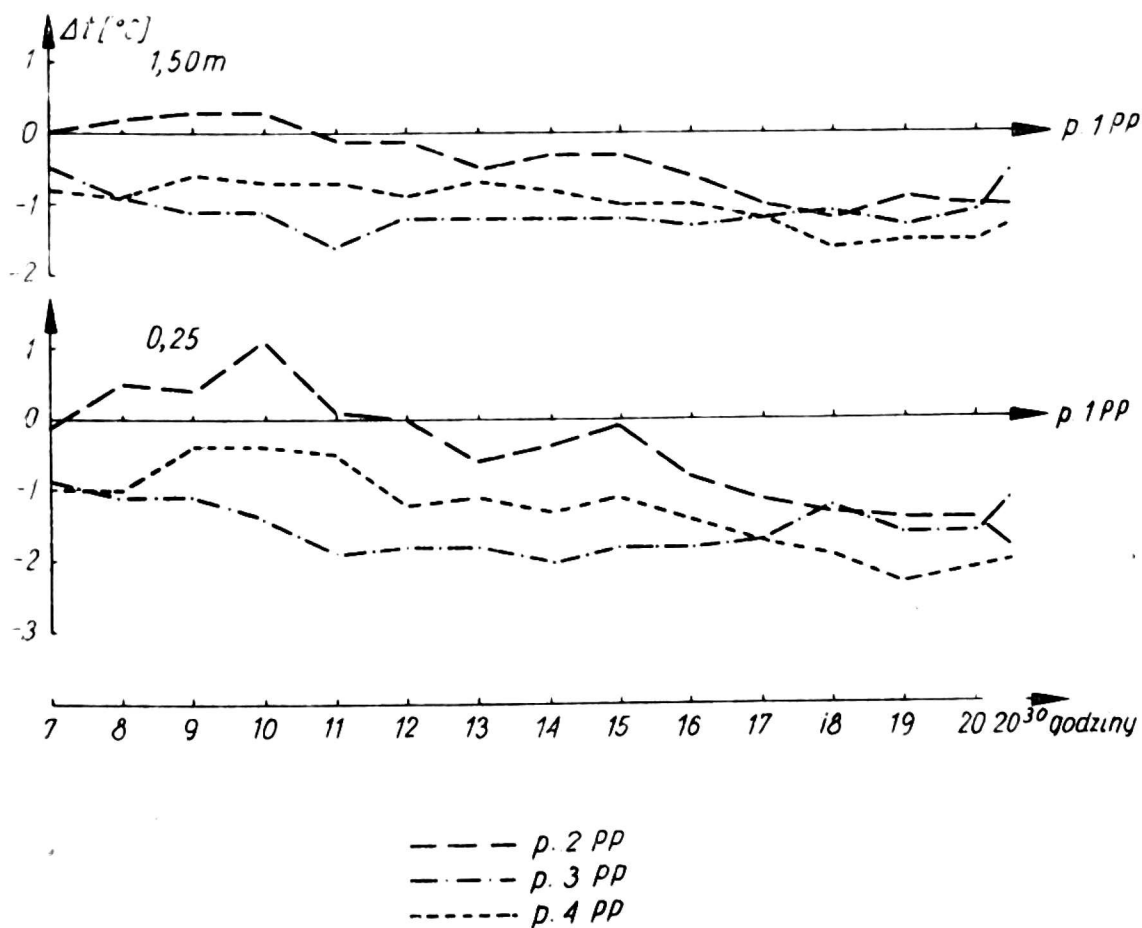


Fig. 10

Przebieg średnich różnic temperatury między punktami w Parku Praskim a punktem 1PP. Lipiec 1975

Course of mean temperature differences between points in Praga Park and Point 1PP. July 1975

sem, nad powierzchnią betonową (p. 1PP). Największe różnice pomiędzy tym punktem a położonymi w parku występują w godzinach wieczornych.

Porównując temperatury z obydwu poziomów pomiarowych (0,25 i 1,50 m) można stwierdzić, że pokrycie podłoża i typ otaczającej roślinności wpływają także w istotnym stopniu na rozkład pionowy temperatury.

W ciągu dnia najsilniej nagrzewa się przygruntowa warstwa powietrza, co odzwierciedla się w spadku temperatury z wysokością. Spadek ten jest największy nad otwartymi trawnikami (p. 1 i 5, p. 2PP), podczas gdy pod koronami drzew (p. 2 i 4, p. 3PP) temperatura na obydwu poziomach prawie nie różni się (fig. 11). W godzinach wieczornych, gdy występuje utrata ciepła z podłoża, stratyfikacja ulega odwróceniu. Inwersja temperatury pod drzewami pojawia się wcześniej (już około godz. 15) niż nad trawnikami (godz. 16—17), lecz natężenie jej jest dużo mniejsze, a pod koniec dnia jeszcze się zmniejsza, np. o godz. 20.30 wzrost temperatury od 0,25 m do 1,5 m na p. 2 wynosi średnio  $0,2^{\circ}\text{C}$ , gdy na p. 5 blisko  $2^{\circ}\text{C}$  (zanotowano jeden przypadek, gdy różnica ta wyniosła  $4,9^{\circ}\text{C}$ ). Jak wykazały obserwacje w Parku Praskim i jego otoczeniu, inwersja tworzy się najpóźniej na skraju parku (godz. 18, p. 2PP) i nie osiąga tam wielkiego natężenia, co wiąże się z oddziaływaniem pobliskiej powierzchni pokrytej płytami betonowymi, nad którymi do końca dnia utrzymuje się stratyfikacja typu dziennego (p. 1PP) (fig. 11).

Z powyższego wynika, że nad otwartymi trawnikami występują nie tylko największe wahania temperatury, ale też największe zmiany pionowych jej gradientów, gdy pod osłoną drzew przebieg dobowy jest złagodzony, a zmiany z wysokością znacznie mniejsze, aczkolwiek zachowujące podobny charakter. Natomiast poza terenem zieleni, nad podłożem betonowym, aż do późnych godzin wieczornych inwersja nie tworzy się.

Na podstawie przedstawionych wyników badań nad temperaturą powietrza w dużym obiekcie zieleni i w jego otoczeniu należy stwierdzić, że charakter podłoża i otaczającej roślinności wpływają w istotnym stopniu na warunki termiczne.

Największą zmiennością tych warunków odznaczają się otwarte trawniki: tu występują największe wahania dobowe oraz najsilniejsze zmiany stratyfikacji. W ciągu dnia spadek temperatury z wysokością sprzyja intensywnej wymianie pionowej powietrza, natomiast tworzące się tu w godzinach wieczornych i nocnych przyziemne inwersje wpływają negatywnie na ruchy powietrza, przez co prowadzą do gromadzenia zanieczyszczeń w przyziemnej warstwie atmosfery.

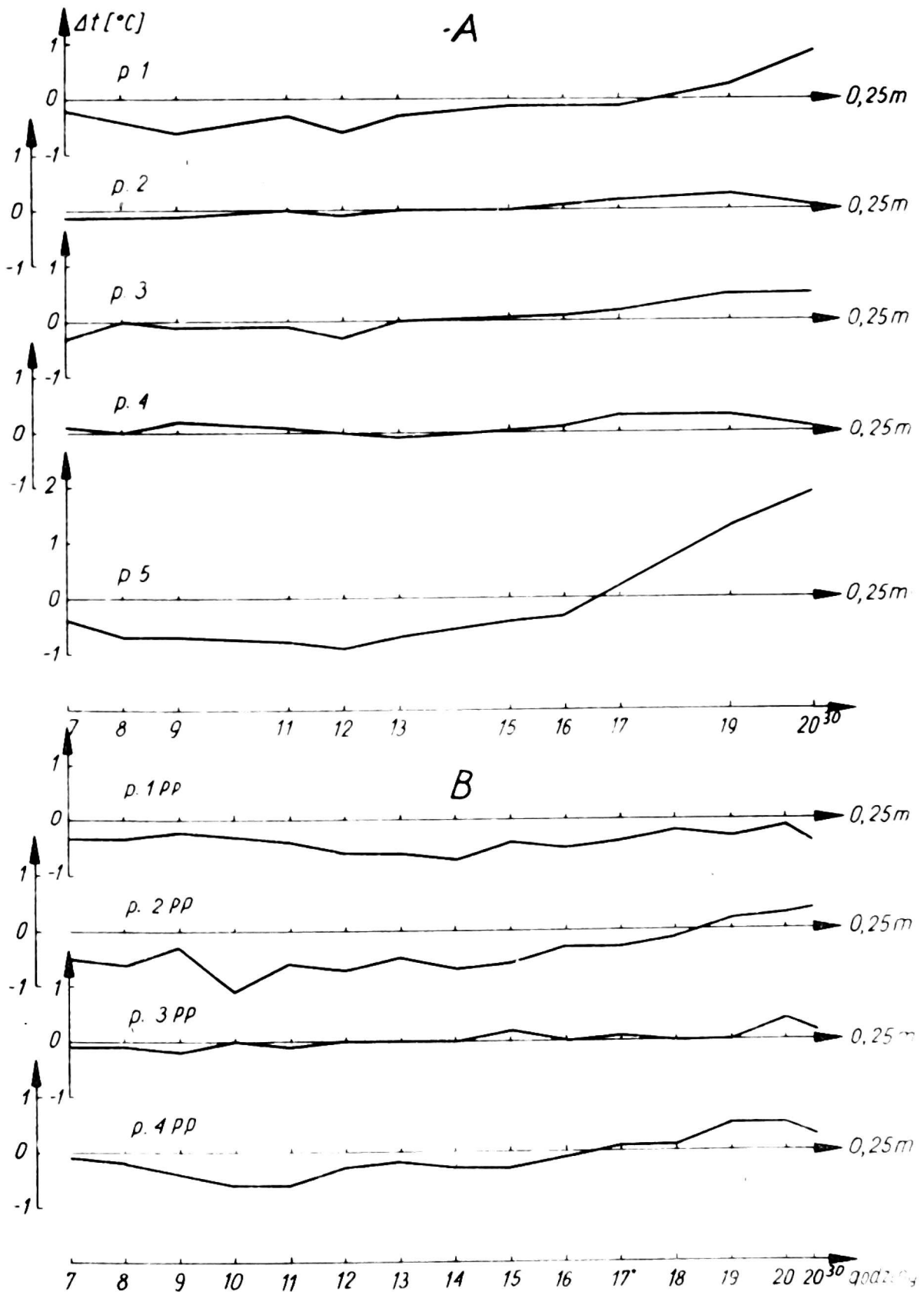


Fig. 11

Przebieg średnich różnic temperatury między poziomami 1,50 i 0,25 m w ZOO (A) i Parku Praskim (B). Lipiec 1973 (A) i lipiec 1975 (B)  
 Course of mean temperature differences between 1.50 m and 0.25 m height, in ZOO (A) and in Praga Park (B). July 1973 (A) and July 1975 (B)

Zmiany dobowe temperatury, jak i jej pionowego rozkładu, naj- silniej są łagodzone w miejscach pod okapem drzew, a stopień złago- dzenia zależy od zwartości koron. W przypadku zwartego drzewosta- nu słaba inwersja może utrzymywać się niekiedy w ciągu całego dnia.

Powierzchnie pokryte betonem nagrzewają się nieco wolniej niż trawniki, zaś wieczorem wolniej tracą nagromadzone w ciągu dnia ciepło, w związku z czym ocieplający wpływ takiego rodzaju podłoża na przy- gruntową warstwę powietrza narasta od godzin południowych do póź- nego wieczora, co wyraża się tak we wzrastających różnicach tempera- tury między notowanymi nad chodnikiem i trawnikiem, jak i w braku wieczornej inwersji nad płytami chodnika.

### Wilgotność powietrza

Wyniki obserwacji z roku 1973 wykazują, że wilgotność względna w obrębie terenu zieleni nie jest silnie zróżnicowana: przeciętne różni- ce pomiędzy poszczególnymi punktami obserwacyjnymi sięgają naj- wyżej 7% na poziomie 0,25 m i 5% na 1,50 m (fig. 12). W odróżnieniu od temperatury największe zróżnicowanie wilgotności występuje nie wieczorem, lecz w ciągu dnia i wykazuje związek przede wszystkim z bujnością pokrywy trawiastej, zaś słabszy ze stopniem ocienienia te- renu.

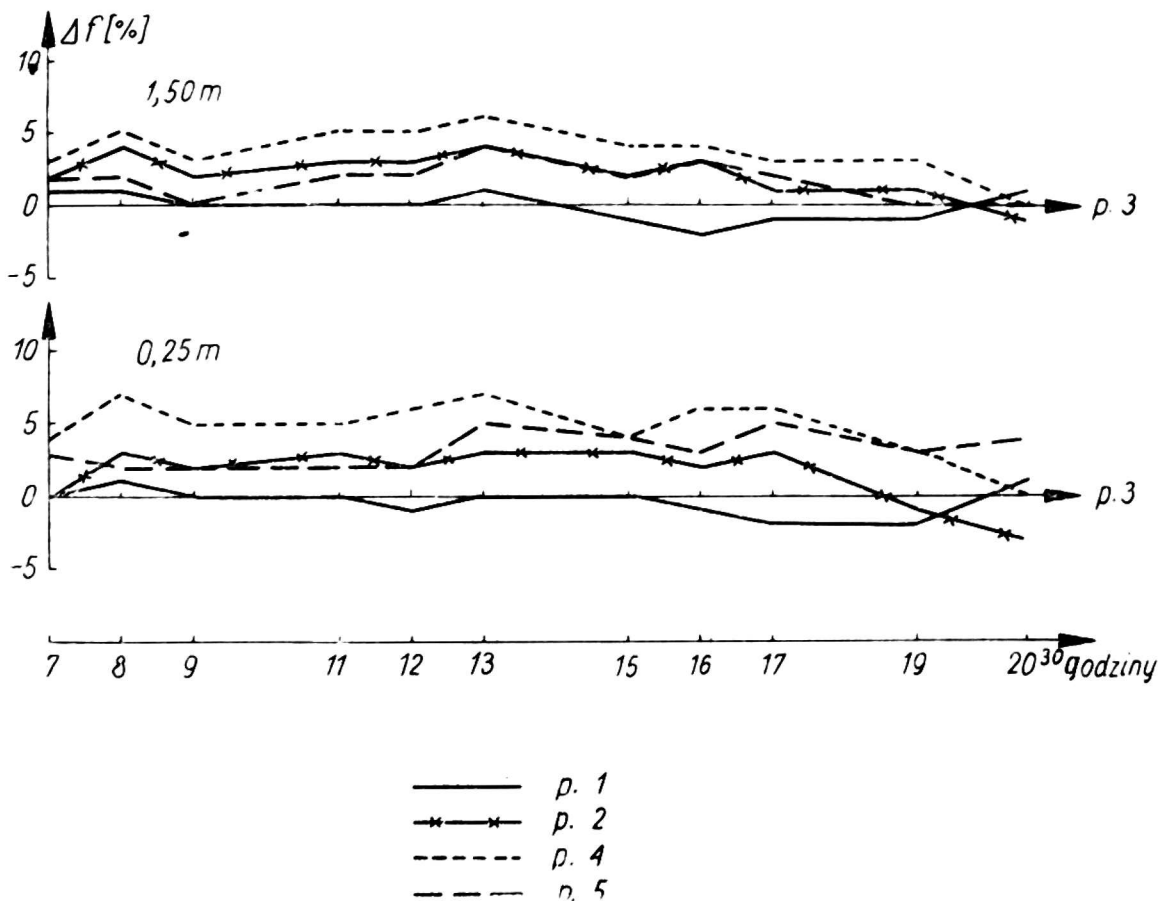


Fig. 12

Przebieg średnich różnic wilgotności względnej między punktami w ZOO a punktem 3. Lipiec 1973

Course of mean differences in relative humidity between points in the ZOO and Point 3. July 1973



Najwyższa wilgotność względna utrzymuje się nad trawnikiem pod drzewami (p. 4), natomiast w drugim zacienionym punkcie, lecz praktycznie pozbawionym pokrywy trawiastej (p. 2), jest o 1—4% niższa. Podobnej wielkości różnice stwierdza się pomiędzy obydwoma stanowiskami nad otwartymi trawnikami: suchsze powietrze utrzymuje się przez cały dzień nad trawnikiem krótko strzyżonym (p. 1) niż nad porośniętą bujną trawą (p. 5). Tak więc najniższą wilgotnością względną wyróżniają się otwarte, nasłonecznione, strzyżone trawniki, najwyższą — miejsca zacienione, mniej przewiewne, z wyrosniętą trawą.

Dane obserwacyjne z r. 1974 ogólnie potwierdzają opisany charakter zróżnicowania, z tym, że większą suchością niż w roku poprzednim wyróżnia się p. 2, zwłaszcza na wysokości 0,25 m, natomiast wysoką — usytuowany nad betonem p. 6, szczególnie na poziomie 1,50 m (fig. 13).

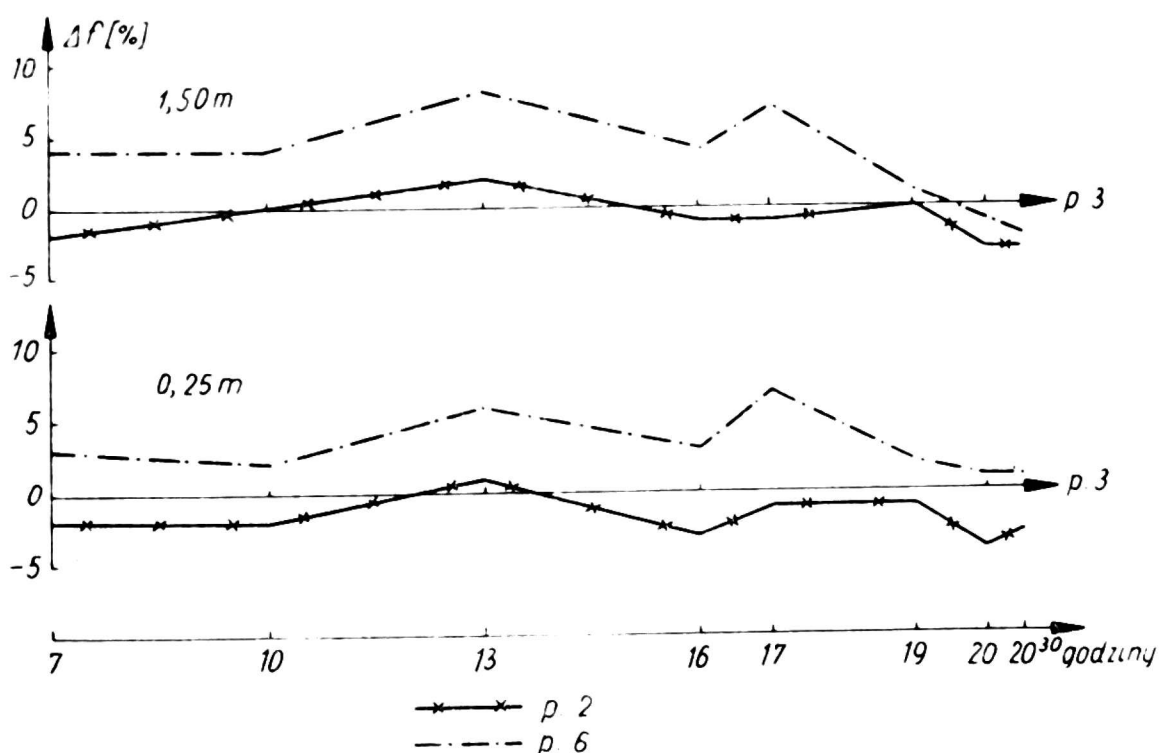


Fig. 13

Przebieg średnich różnic wilgotności względnej między wybranymi punktami w ZOO a punktem 3. Lipiec 1974

Course of mean differences in relative humidity between selected points in the ZOO and Point 3. July 1974

W Parku Praskim w roku 1975 różnice wilgotności względnej pomiędzy poszczególnymi punktami są znacznie większe niż na terenie ZOO: na wysokości 1,50 m sięgają, a na 0,25 m nawet przekraczają 15% (fig. 14). Tak duże zróżnicowanie wynika z faktu prowadzenia badań terenu poza obiektem zieleni. Najniższą wilgotnością względną w ciągu całego dnia odznacza się punkt poza parkiem, nad powierzchnią

betonową (p. 1PP); w głębi parku wilgotność wzrasta. Największe różnice pomiędzy stanowiskami na terenie parku występują w ciągu dnia, natomiast poza nim — w godzinach wieczornych.

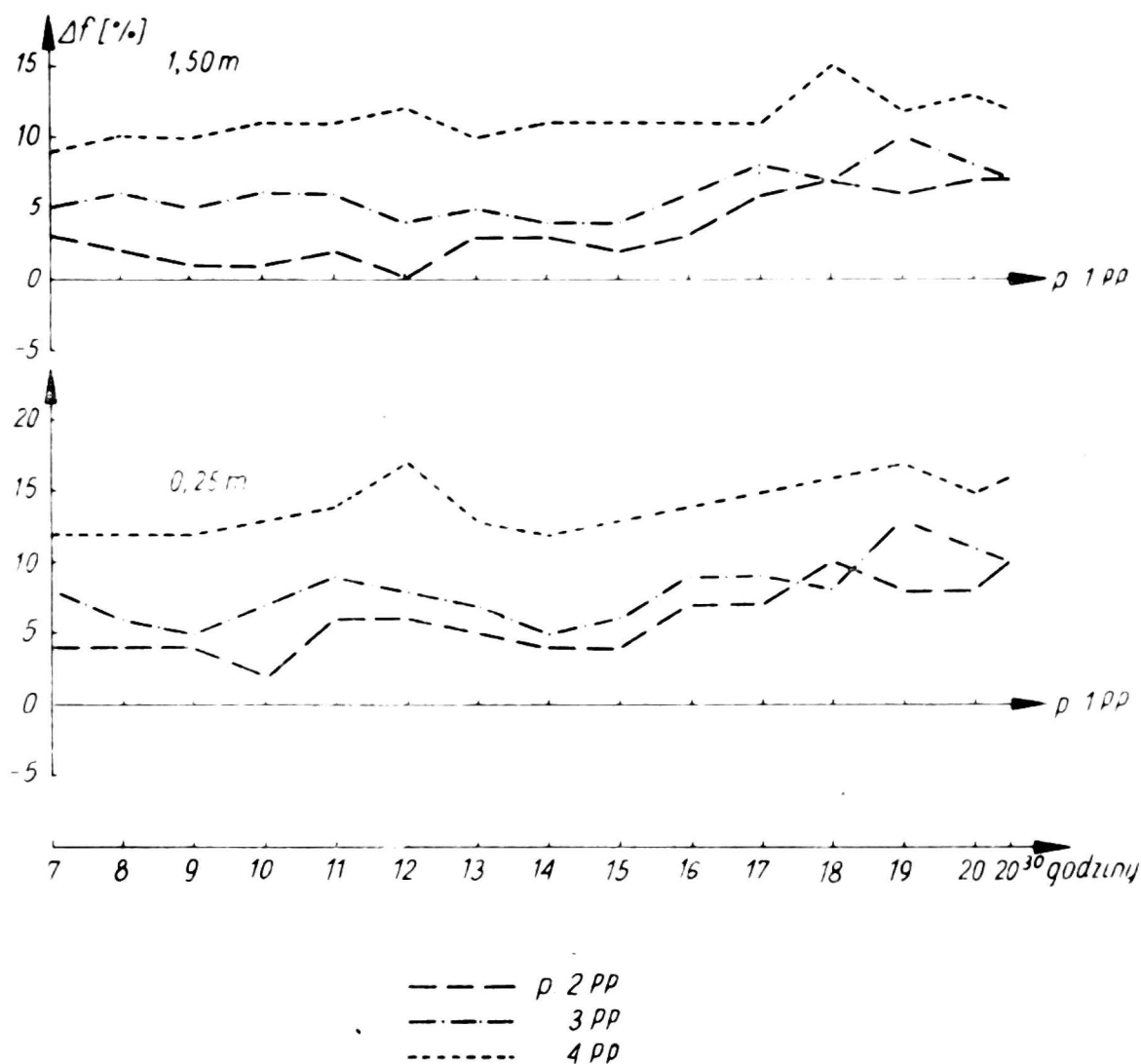


Fig. 14

Przebieg średnich różnic wilgotności względnej między punktami w Parku Praskim a punktem 1PP. Lipiec 1975

Course of mean differences in relative humidity between points in Praga Park and Point 1PP. July 1975

Para wodna dostaje się do atmosfery w wyniku parowania z podłoża i jest przenoszona na większe wysokości dzięki ruchom powietrza. W związku z tym największa wilgotność względna występuje przy powierzchni gruntu i zmniejsza się z wysokością. Tę prawidłowość stwierdza się na wszystkich punktach pomiarowych usytuowanych w terenach zieleni (fig. 15). Spadek wilgotności z wysokością jest największy nad podłożem o bujnej trawie (p. 4 i 5), najmniejszy zaś nad powierzchnią prawie jej pozbawioną (p. 2) i zwiększa się w godzinach wieczornych. Największy spadek wilgotności pojawia się przy silnej inwersji temperatury, gdy wilgotność względna maleje nie tylko na skutek

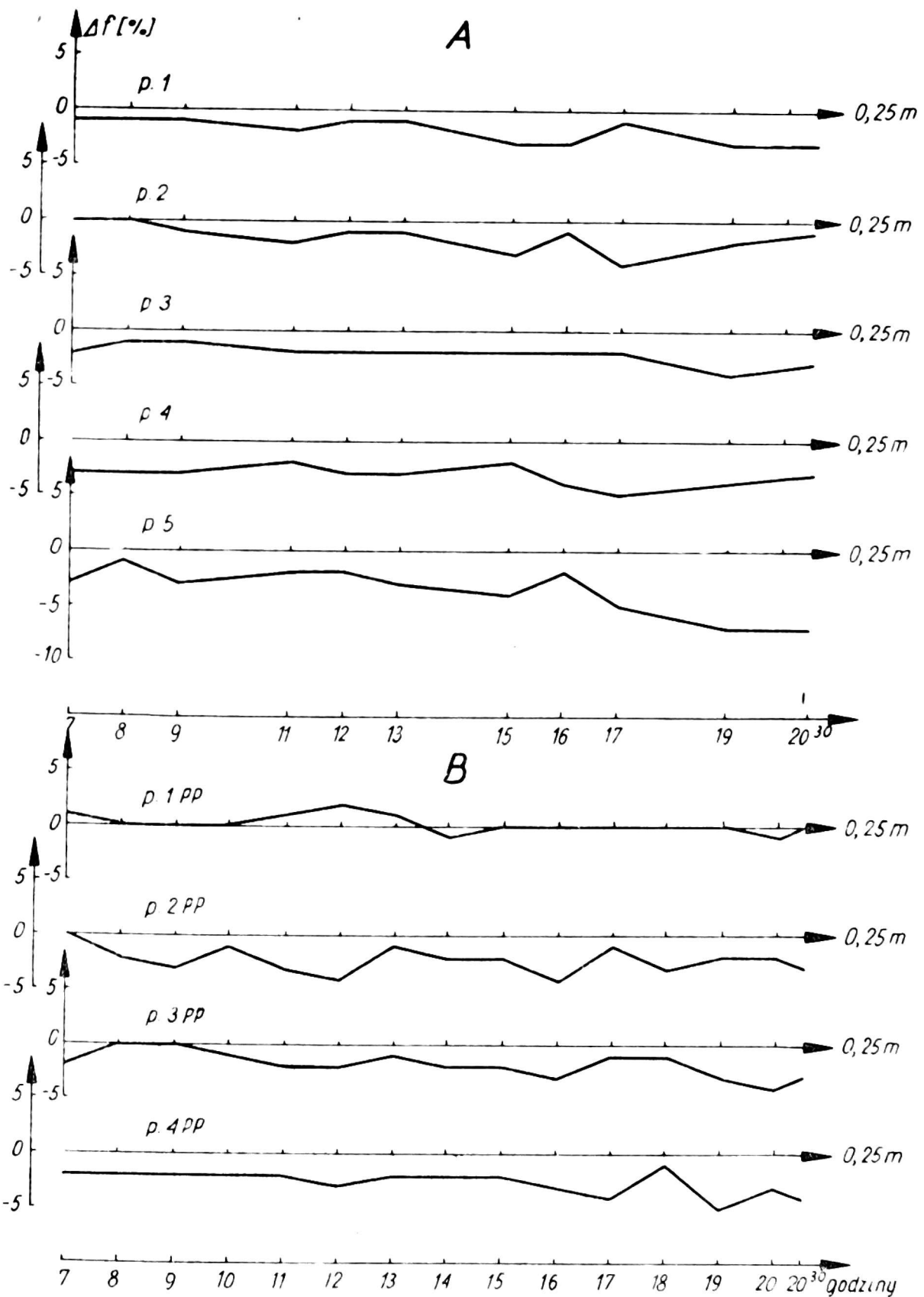


Fig. 15

Przebieg średnich różnic wilgotności względnej między poziomami 1,50 i 0,25 m w ZOO (A) i Parku Praskim (B). Lipiec 1973 (A) i lipiec 1975 (B)

Course of mean differences in relative humidity between 1.50 m and 0.25 m height, in the ZOO (A) and in Praga Park (B). July 1973 (A) and July 1975 (B)

zmniejszania się zawartości pary wodnej w powietrzu, ale także w związku ze wzrostem temperatury z wysokością (p. 5) (fig. 15).

Odmienne kształtuje się rozkład pionowy wilgotności względnej nad powierzchnią pokrytą płytami (p. 1PP). Ponieważ nie stanowi ona źródła pary wodnej, przyległa warstwa powietrza nie odznacza się najwyższą wilgotnością. Podczas większej części dnia wilgotność względna na poziomach 0,25 i 1,50 m jest przeciętnie taka sama lub różni się tylko o 1%, a w godzinach 11—13 utrzymuje się nawet stratyfikacja odwrócona, tzn. wzrost wilgotności z wysokością związany nie tylko z suchością podłoża, ale też ze znacznym spadkiem temperatury z wysokością. Nad powierzchnią betonową w obrębie kompleksu zieleni spadek wilgotności z wysokością jest też z reguły mniejszy niż nad trawnikiem.

Prężność pary wodnej na terenie porośniętym roślinnością wykazuje zróżnicowanie, podobnie jak wilgotność względna, związane z bujnością pokrywy trawiastej, przewodnością terenu i nasłonecznieniem. Różnice pomiędzy poszczególnymi punktami sięgają 1,5 mbar na wysokości 1,50 m i 2 mbar na 0,25 m (fig. 16). Większe różnice daje się stwier-

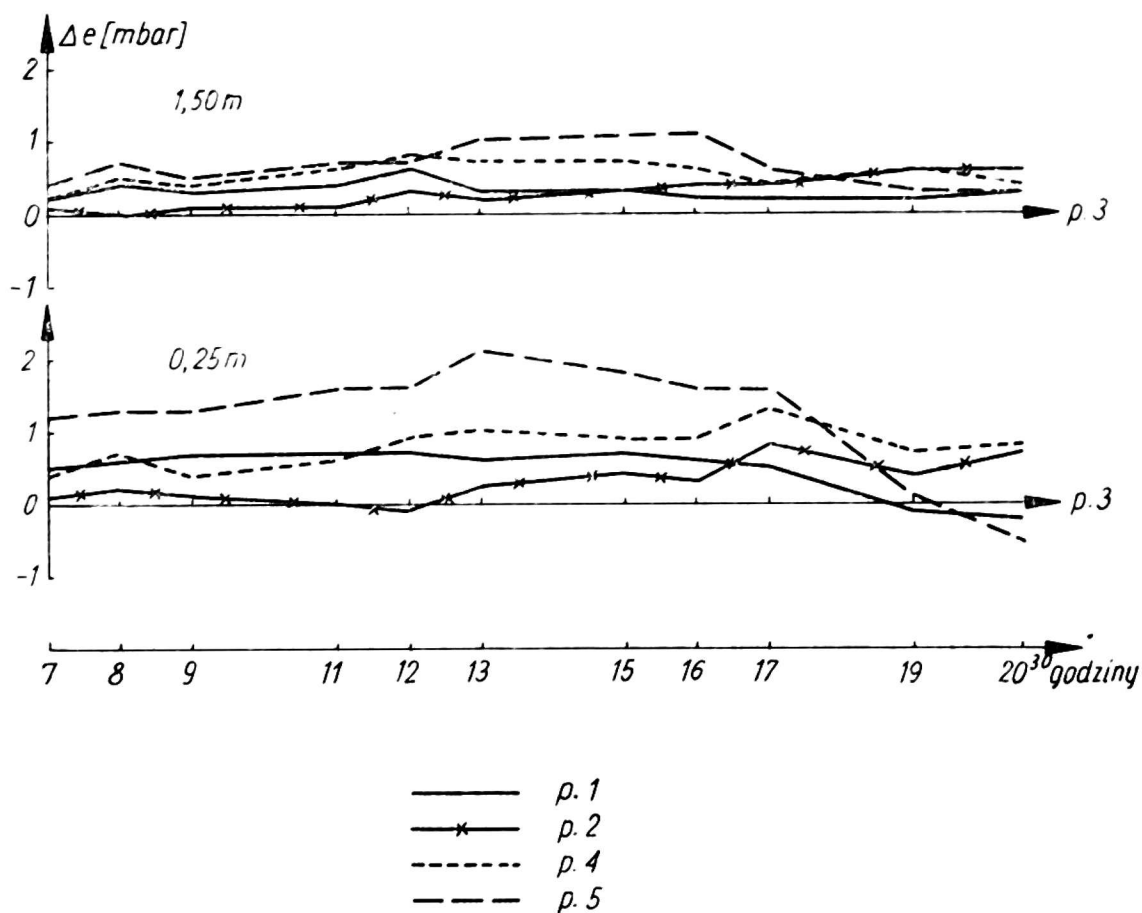


Fig. 16

Przebieg średnich różnic prężności pary wodnej między punktami w ZOO a punktem 3. Lipiec 1973

Course of mean differences in vapour pressure between points in the ZOO and Point 3. July 1973

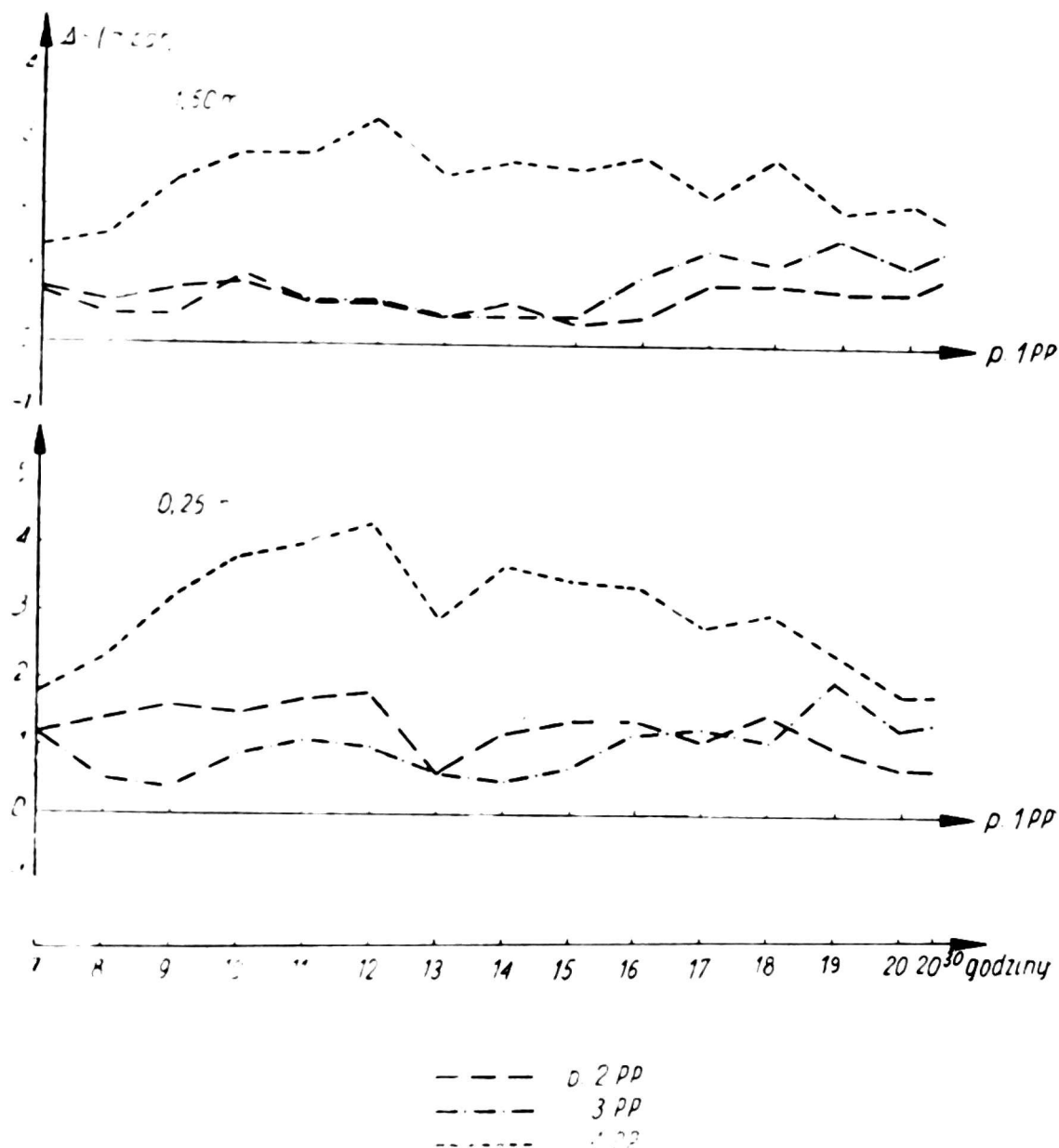


Fig. 17

Przebieg średnich różnic prężności pary wodnej między punktami w Parku Praskim a punktem 1PP. Lipiec 1975

Course of mean differences in vapour pressure between points in Praga Park and Point 1 PP. July 1975

dzić między wnętrzem kompleksu i jego otoczeniem — do 4 mbar na wysokości 0,25 m (fig. 17).

Najwyższa prężność pary wodnej utrzymuje się nad podłożem, które stanowi potencjalnie najobfitsze źródło pary wodnej, tj. nad wysoką trawą (p. 4), zwłaszcza w miejscach niezacienionych (p. 5, 4PP). Najniższą prężnością wyróżniają się punkty pod koronami drzew, nad pokrywą trawiastą niezbyt obfitą (p. 3, p. 3PP) lub przy jej braku (p. 2). Największe kontrasty pomiędzy poszczególnymi stanowiskami obserwacyjnymi stwierdza się w okresie najwyższych temperatur, tzn. w ciągu dnia, podczas gdy rano i wieczorem są wyraźnie mniejsze.

W godzinach wieczornych prężność pary wodnej wykazuje wyraź-

niejsze niż w dzień powiązanie z temperaturą: w punktach o tej porze chłodniejszych prężność silnie spada (p. 1 i 5), zaś wyższa pozostaje w miejscach cieplejszych (p. 2 i 4). Zróznicowanie to, podobnie jak w przypadku temperatury i wilgotności względnej, silniej zaznacza się w pobliżu podłoża, tzn. na wysokości 0,25 m i zmniejsza się ze wzrostem wysokości.

Poza terenem zieleni, nad płytami betonowymi, zawartość pary wodnej w ciągu całego dnia jest niższa w porównaniu z parkiem. Nawet na skraju parku, nad otwartym trawnikiem, gdzie występuje swobodna wymiana powietrza z sąsiednią ulicą (p. 2PP), prężność przewyższa jeszcze na wysokości 1,50 m o około 0,5 mbar występującą nad ulicą (p. 1PP) (fig. 17).

Prężność pary wodnej maleje w miarę wzrostu wysokości. Ten spadek silniej zaznacza się nad trawnikami (p. 1 i 5, p. 2PP i 4PP), słabiej w miejscach ocienionych przez drzewa (p. 2 i 3, p. 3PP); największe pionowe gradienty obserwuje się koło południa i wczesnym popołudniem, zaś wyraźne ich zmniejszenie późnym wieczorem (fig. 18). Wzrost prężności pary wodnej z wysokością stwierdzono tylko w późnych godzinach wieczornych nad otwartymi trawnikami w ZOO (p. 1 i 5), w związku z utrzymującą się tam silną inwersją temperatury. Na innych punktach pomiarowych w ZOO, a także w Parku Praskim, wieczornym inwersjom termicznym towarzyszy jedynie wyraźne osłabienie spadku prężności z wysokością.

Nad ulicą (p. 1PP) prężność pary wodnej jest nie tylko mniejsza niż w parku, ale też wykazuje mniej zróżnicowany rozkład pionowy (fig. 18). Obniża swą wartość w miarę oddalania od podłoża, ale ten spadek od poziomu 0,25 m do 1,50 m przeciętnie nie przekracza 0,5 mbar, gdy nad nasłonecznionym trawnikiem w głębi terenu zieleni dochodzi do 1,5 mbar. Ponadto, nad powierzchnią pokrytą płytami gradienty pionowe prężności pary wodnej nie wykazują regularnych zmian w ciągu dnia, w odróżnieniu od podłoża trawiastego, nad którym obserwuje się w środku dnia wyraźny wzrost tych gradientów.

Analiza wyników obserwacji wilgotności wykazała, że powietrze w terenie zieleni jest wilgotniejsze (wyższa prężność pary wodnej i wilgotność względna) niż poza tym terenem, nawet w niewielkiej od niego odległości, a największe różnice powstają w godzinach okołopołudniowych, gdy parowanie z trawników i wysokiej roślinności jest silniejsze. W głębi kompleksu zieleni zróżnicowanie wilgotności powietrza nie jest zbyt duże i jest uzależnione od bujności pokrywy trawiastej, stopnia ocienienia i zaciszności terenu. Najbogatsze w parę wodną okazują się miejsca o bogatej niskiej pokrywie roślinnej, nasłonecznione, lecz słabo

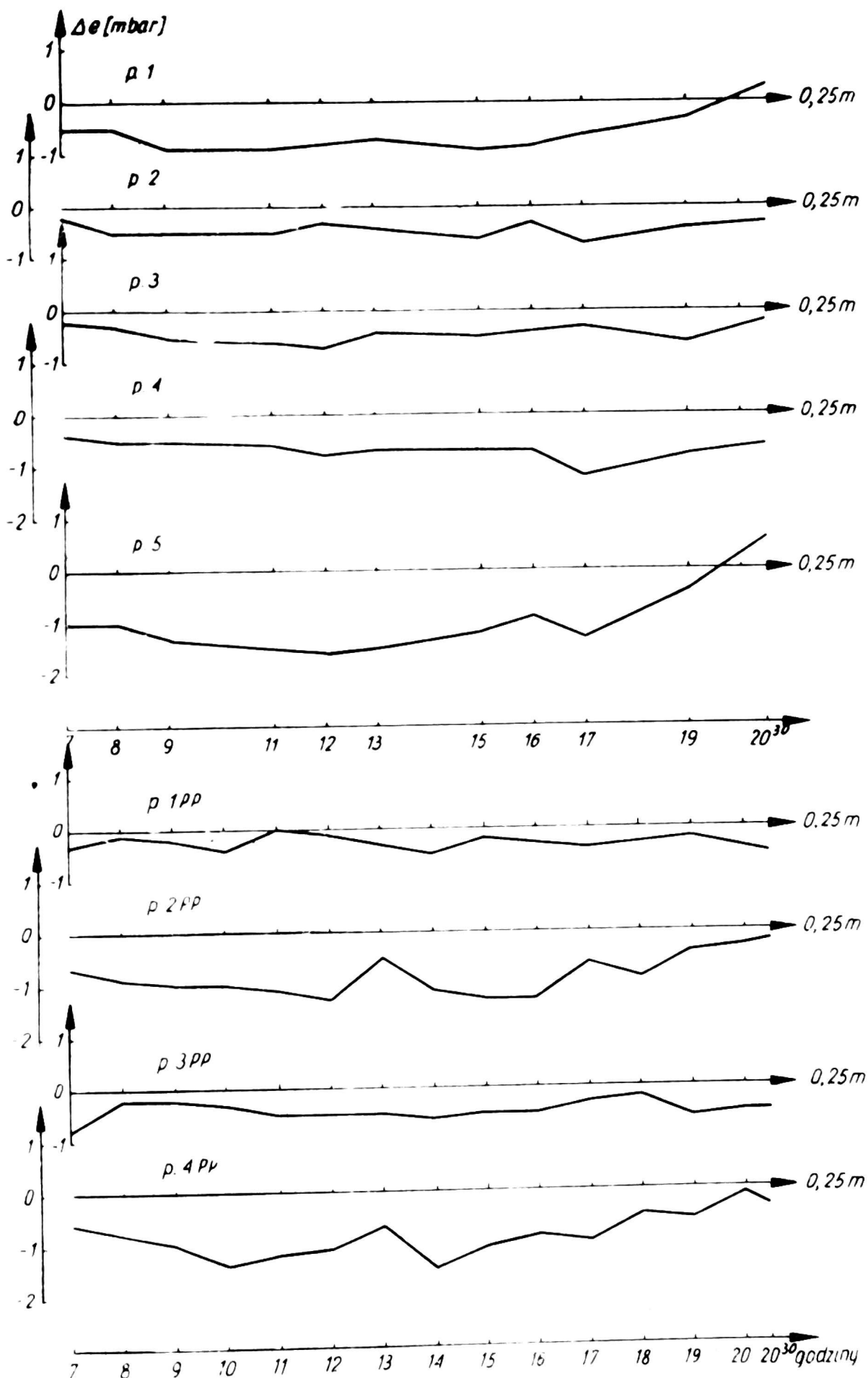


Fig. 18

Przebieg średnich różnic prężności pary wodnej między poziomami 1,50 i 0,25 m w ZOO (A) i Parku Praskim (B). Lipiec 1973 (A) i lipiec 1975 (B)

Course of mean differences in vapour pressure between 1.50 m and 0.25 m height in the ZOO (A) and in Praga Park (B). July 1973 (A) and 1975 (B)

przewietrzane, gdy wśród zwartych zadrzewień, nad gruntem silnie zacienionym powietrze może być suchsze, podobnie jak nad otwartymi, dobrze przewietrzanymi trawnikami.

Warto też zwrócić uwagę, że wzrostowi wilgotności powietrza sprzyja obecność zbiorników wodnych, zwłaszcza w ciągu dnia, przy pięknej, cieplej pogodzie, podczas gdy w nocy w ich sąsiedztwie wilgotność względna bywa nawet niższa niż nad trawnikami.

#### WNIOSKI

Wyniki badań warunków termiczno-wilgotnościowych na terenie Ogrodu Zoologicznego i sąsiedniego Parku Praskiego pozwoliły stwierdzić nie tylko charakter i wielkość różnicowania tych warunków pomiędzy terenem zieleni i zabudowanym oraz w samym kompleksie zieleni, lecz także nasunęły wnioski natury bardziej ogólnej, a mające znaczenie praktyczne.

— Przede wszystkim należy zwrócić uwagę, że aczkolwiek duży teren zieleni wpływa jako całość na obniżenie temperatury i wzrost wilgotności powietrza, to inne przyczyny decydują o „ochłodzeniu”, inne zaś o „uwilgotnieniu” przygruntowej warstwy powietrza. W pierwszym przypadku decydujące znaczenie ma roślinność wysoka, zwłaszcza zwarty drzewostan, w drugim raczej roślinność niska, lecz bujna. Zatem w celu złagodzenia typowego dla wielkich miast letniego przegrzania i przesuszenia powietrza należy tworzyć tereny zieleni o różnicowanej roślinności, gdzie zaciszne polany sąsiadują z kępami gęstych drzew i krzewów oraz luźnymi zadrzewieniami. Wydaje się, że zbyt rozległe powierzchnie trawników bez udziału wyższej roślinności nie są korzystne, bowiem w ciągu dnia dochodzi tu do znacznych wzrostów temperatury, zaś w nocy do niepożądanych inwersji, a przewiewność nie sprzyja utrzymywaniu zwiększonej wilgotności powietrza.

— Przedstawione wyniki badań nie dają podstaw do określenia zasięgu oddziaływania terenu zieleni na warunki termiczno-wilgotnościowe, lecz nawet w oparciu o tak skromny materiał można wyrazić przypuszczenie, że zasięg ten jest bardzo niewielki. Warunki klimatu lokalnego dużego kompleksu zieleni w mieście można tu porównać do klimatu oazy. W związku z tym wydaje się bardziej prawidłowe zakładanie licznych skwerów i zieleńców wśród zabudowy niż tworzenie terenów kontrastowych — rozległych parków, sąsiadujących ze zwartą zabudową bez zieleni.

— W dużych obiektach zieleni, w celu zdynamizowania wymiany powietrza, korzystne jest wprowadzanie powierzchni termicznie kontra-



stowych, bez pokrywy trawiastej, w postaci placyków i alejek, a także zbiorników wodnych.

— Oddziaływanie terenów zieleni, nawet tak rozległych jak kompleks ZOO — Park Praski na klimat lokalny w miesiącach zimowych praktycznie zanika. O oddziaływaniu tym właściwie można mówić tylko w odniesieniu do pełni sezonu wegetacyjnego, kiedy bujnie rozwinięta roślinność silnie modyfikuje dobowe zmiany temperatury i dostarcza znacznych ilości pary wodnej w wyniku transpiracji. Ma to bardzo istotne znaczenie, gdyż w pełni lata najbardziej dają się odczuć przegrzanie i suchość miejskiego powietrza. Jednak należy pamiętać, że zimą ostrzej niż w lecie występują inne cechy negatywne klimatu wielkomiejskiego: zanieczyszczenie powietrza i związany z nim osłabiony dopływ promieniowania słonecznego. Na te zjawiska pozbawiona liści roślinność nie ma praktycznie żadnego wpływu. Dlatego, aczkolwiek pozytywna rola roślinności w mieście została stwierdzona w sposób jednoznaczny, nie należy tej roli przeceniać. Na ukształtowanie prawidłowych warunków klimatycznych w wielkim mieście składa się wiele elementów, np. rzeźba terenu czy charakter zabudowy, zaś tereny zieleni stanowią tylko jeden spośród nich.

*Urszula Kossowska-Cezak*

EFFECT OF A LARGE COMPLEX OF CITY VERDURE UPON AIR  
TEMPERATURE AND HUMIDITY (WITH THE AREA OF THE WARSZAWA ZOO  
AS AN EXAMPLE)

SUMMARY

How far a large area of vegetation affects temperature and humidity conditions has been deliberated upon from observations supplied by the meteorological station situated in the Warszawa ZOO. By correlating these data with those reported by a station situated amidst a built-over nearby area (these investigations extending from November 1973 to September 1975) it was found, that areas of urban verdure cause air temperatures to decrease and air humidity to increase. During the winter months this effect is but slight and is mainly caused by temperature rises issuing from the built-over areas beyond the extent of which the verdure area in question is situated. On the other hand, the most definite cooling and humidifying effect of vegetation can be observed during the peak of the vegetative period, especially in the evening and night hours. The mean temperature differences between built-over areas and parkland area may be as high as 2°C, those of relative humidity some 12%.

Investigations carried on during the summer seasons (July 1973, 1974 and 1975) at four to six observation points in the ZOO area and in Praga Park adjoining the ZOO have revealed, that temperature conditions depend upon the type of ground surface (turf — concrete) and, above alike grassland covers upon the degree of shading by trees. Greatest are the temperature oscillations and highest the daily changes in vertical temperature gradients are those observed above grassland exposed to sunlight, while the most marked temperature stability appears over places shaded by trees. Humidity conditions depend upon the compactness of the turf cover and on how well aerated the place is. Highest air humidity uses to be above high grass at secluded sheltered places, while it is lowest above a scanty vegetation cover.

In the light of the results of these data it appears, that the effect of urban verdure upon climatic conditions in the city is bound to be particularly favourable provided the greenland contains a vegetation as variegated as possible, consisting of open lawns, of concentrations of shrubbery, and of tree stands.