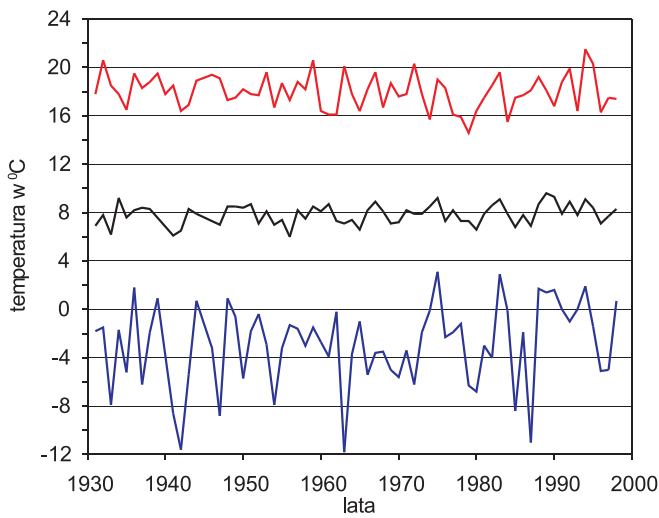


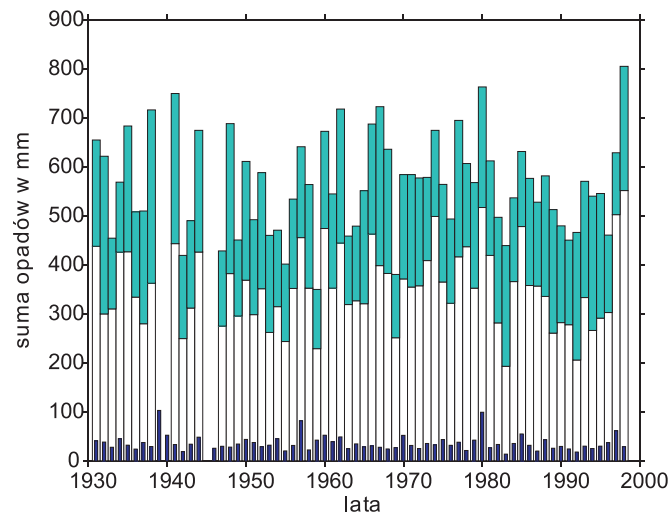
Klimat

Warunki klimatyczne każdego niewielkiego obszaru, np. miasta, mogą być charakteryzowane zarówno z punktu widzenia czasowej zmienności poszczególnych elementów meteorologicznych, jak również ich przestrzennego zróżnicowania. Pierwszy aspekt zdeterminowany jest głównie przez makroskalowe procesy klimatotwórcze i geograficzne czynniki klimatu. Wartości średnie wieloletnie oraz zmienność w czasie głównych elementów meteorologicznych są w przypadku Łodzi charakterystyczne dla klimatu umiarkowanego o charakterze przejściowym, między kontynentalną i oceaniczną jego odmianą. Zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów meteorologicznych na względnie małym obszarze miasta wynika przede wszystkim z oddziaływania czynników lokalnych. Zamieszczone w Atlasie wykresy i mapy zawierają zatem opis najważniejszych cech klimatu i warunków bioklimatycznych w przebiegu wieloletnim i rocznym, charakterystykę fizycznych cech powierzchni miasta ważnych z punktu widzenia kształtowania się warunków klimatu lokalnego oraz cech zróżnicowania termicznego. Oprócz tego zamieszczono mapy i wykresy ilustrujące stan zanieczyszczenia powietrza w świetle najpowszechniej używanych wskaźników (zawartości w powietrzu dwutlenku siarki, pyłu zawieszonego i dwutlenku azotu).



Wykres 1: Przebieg średniej rocznej temperatury w Łodzi w latach 1931-1998 (linia czarna) oraz średniej temperatury lipca (linia czerwona) i stycznia (linia niebieska)

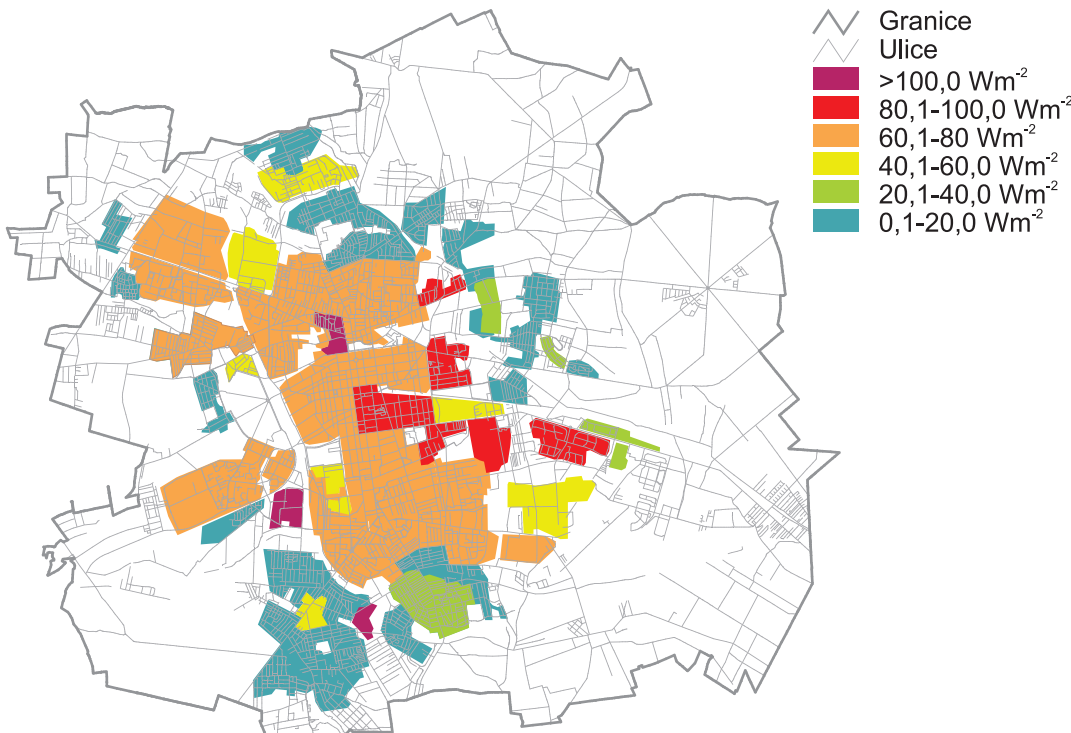
Joanna Wibig



Wykres 2: Przebieg rocznych sum opadów atmosferycznych w Łodzi w latach 1931-1998 z podziałem na półroczia letnie (maj-październik - pola białe) i zimowe (listopad-kwiecień - pola niebieskie). Granatowymi słupkami zaznaczono najwyższą w danym roku dobową sumę opadów.

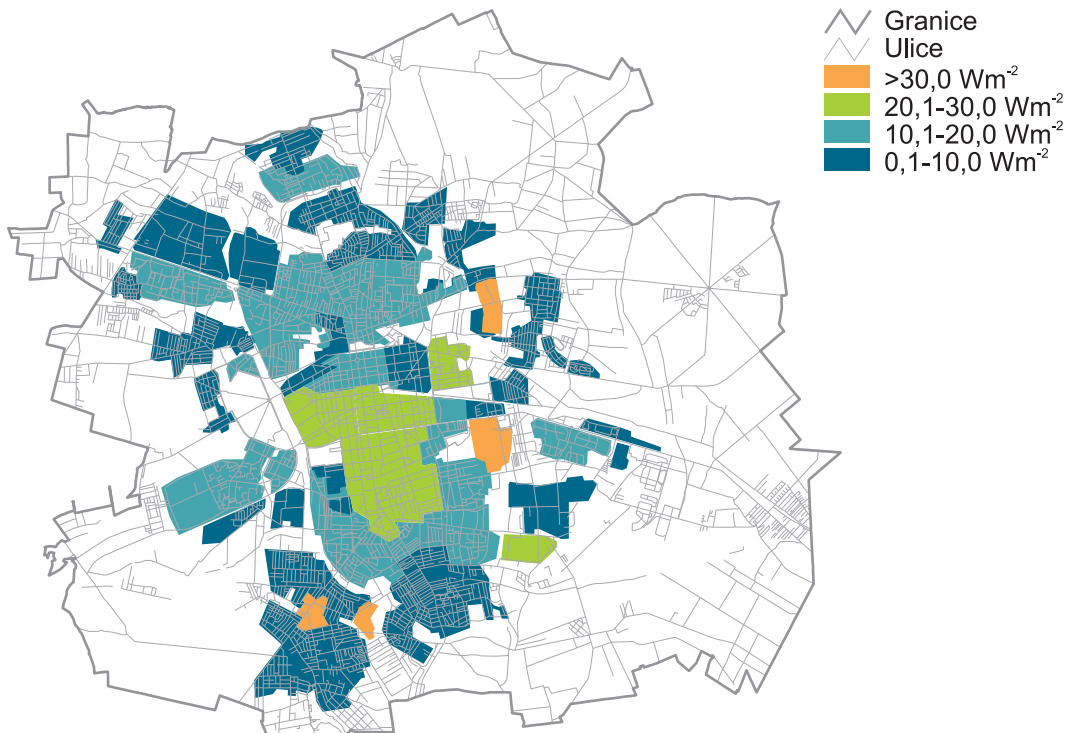
Joanna Wibig

1. Emisja ciepła sztucznego w styczniu na obszarze Łodzi



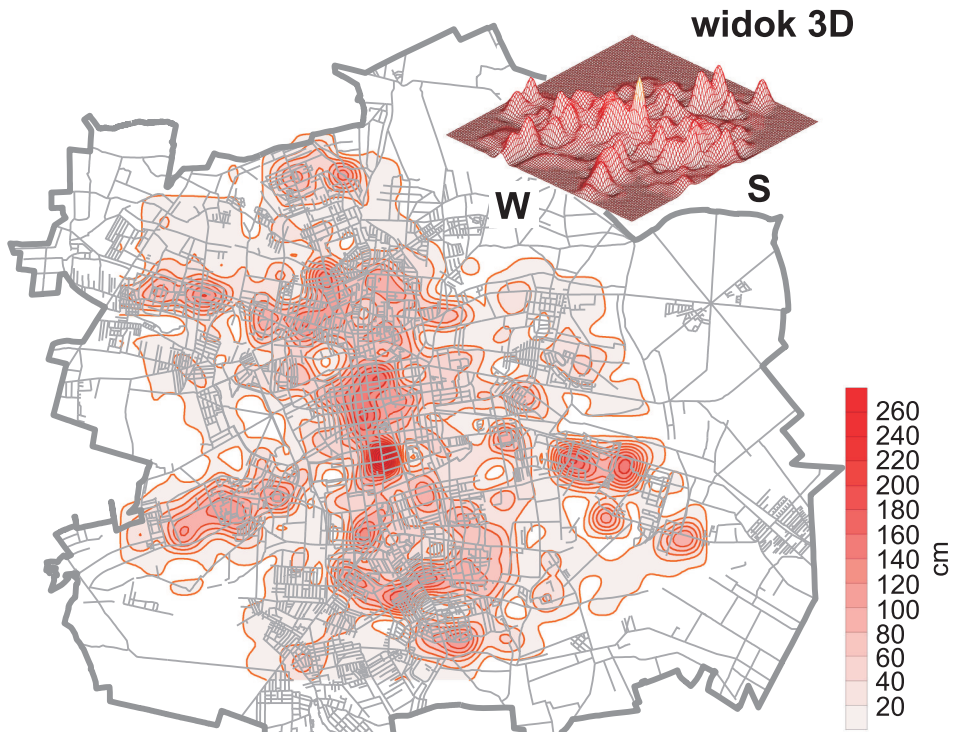
Kazimierz Kłysik

2. Emisja ciepła sztucznego w lipcu na obszarze Łodzi



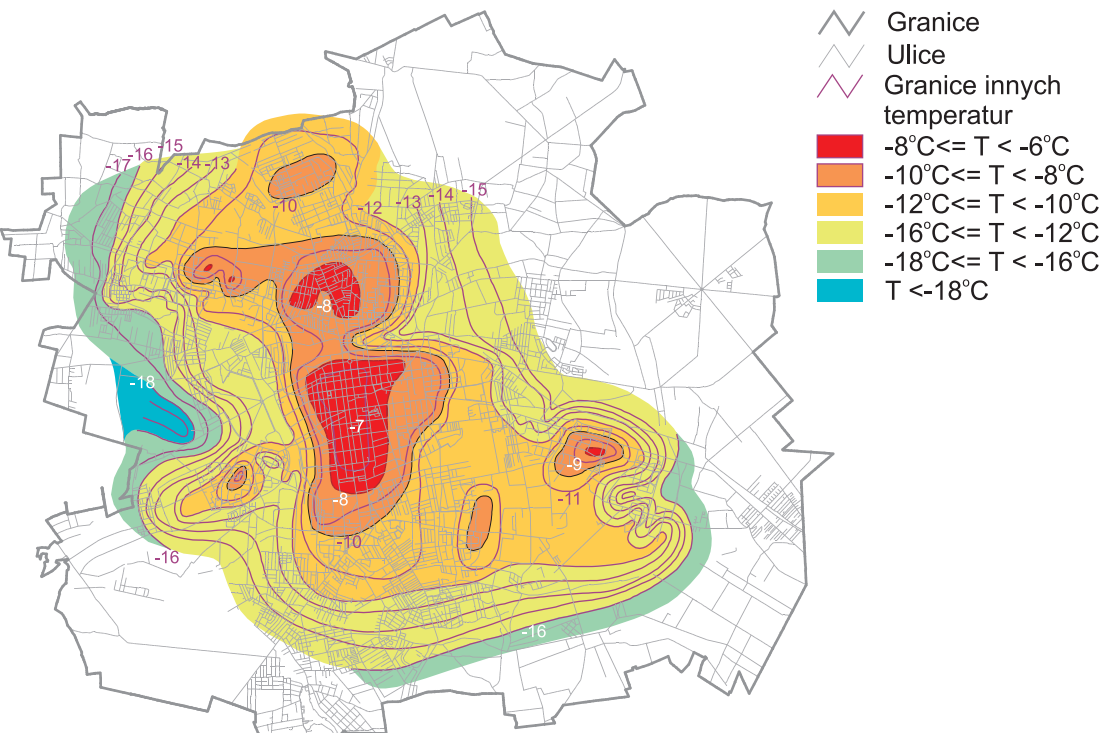
Kazimierz Kłysik

3. Rozkład współczynnika szorstkości aerodynamicznej na obszarze Łodzi dla kierunku przepływu powietrza wschód-zachód



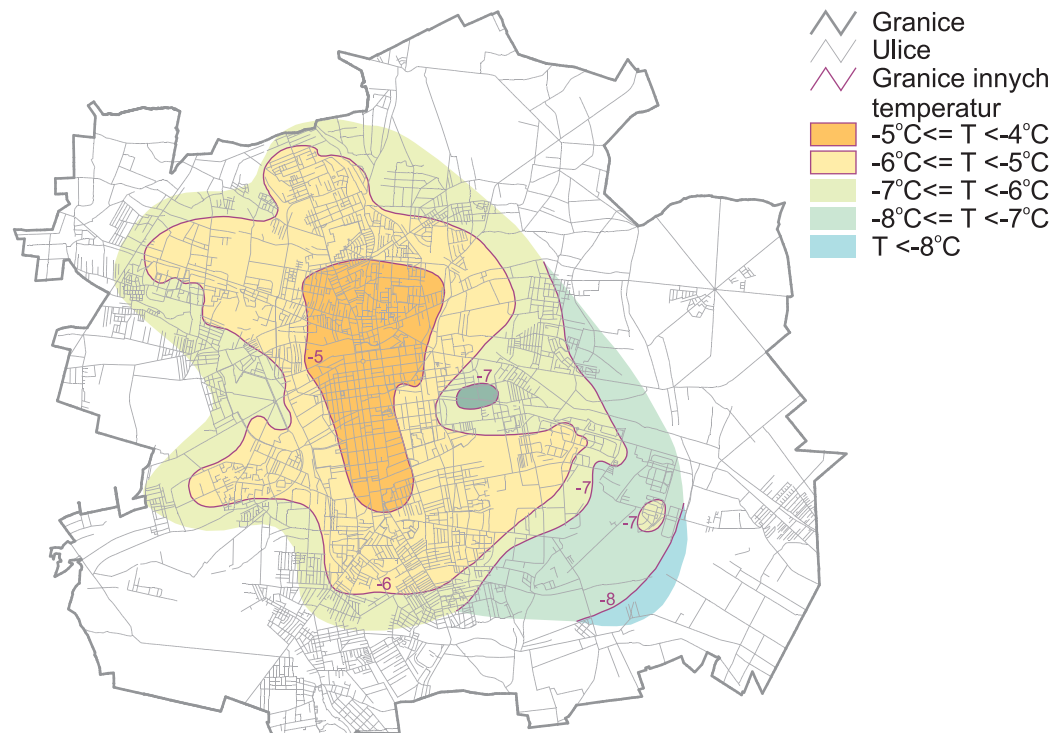
Kazimierz Kłysik, Krzysztof Fortuniak

4. Komórkowa forma miejskiej wyspy ciepła - przykład z dnia 05 lutego 1996



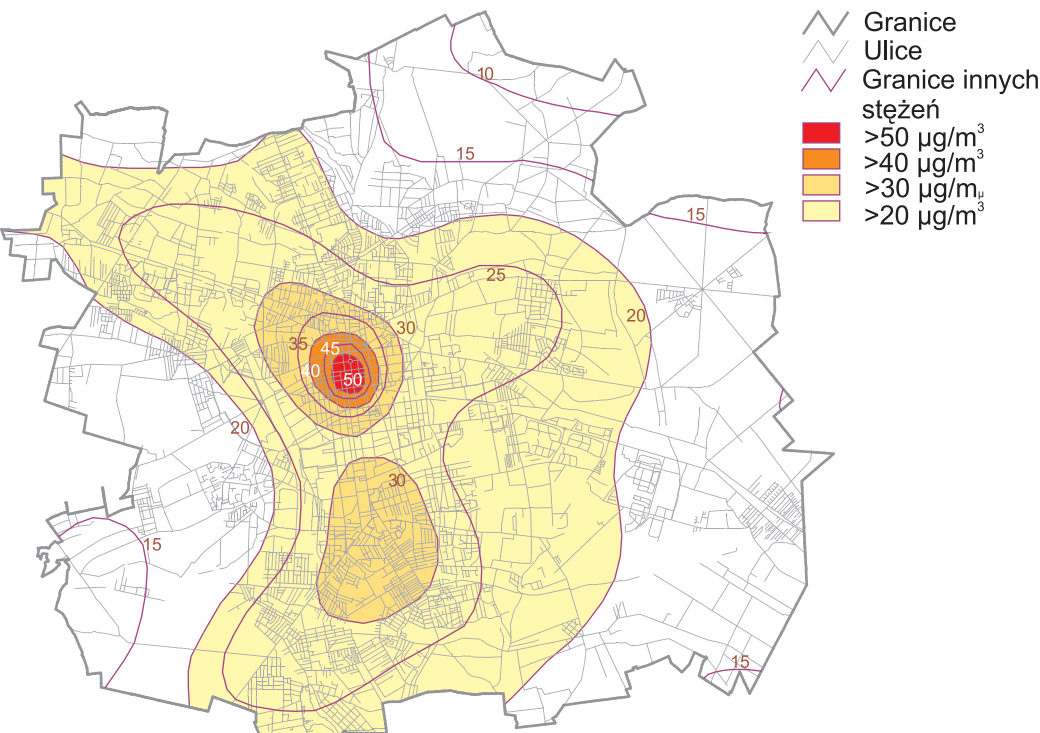
Kazimierz Kłysik

5. Zgeneralizowana forma miejskiej wyspy ciepła - przykład z dnia 02 lutego 1996



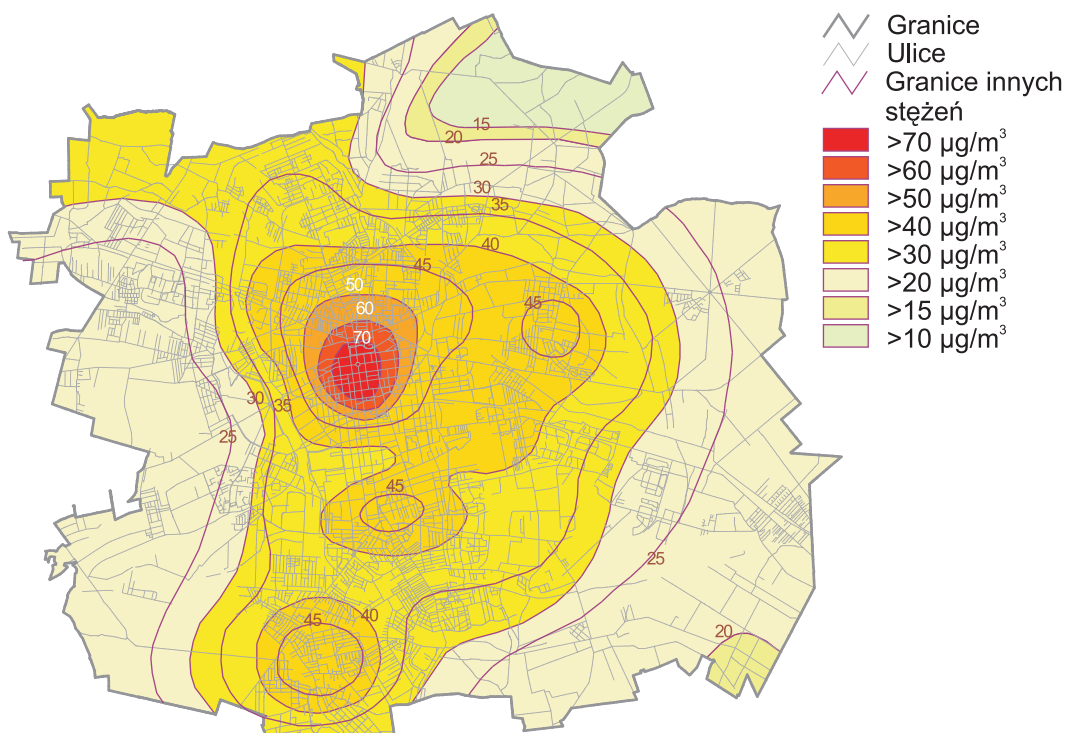
Kazimierz Kłysik

6. Średnie stężenie NO₂ [µg/m³] w Łodzi w latach 1996-2000 (na podstawie pomiarów WSSE)



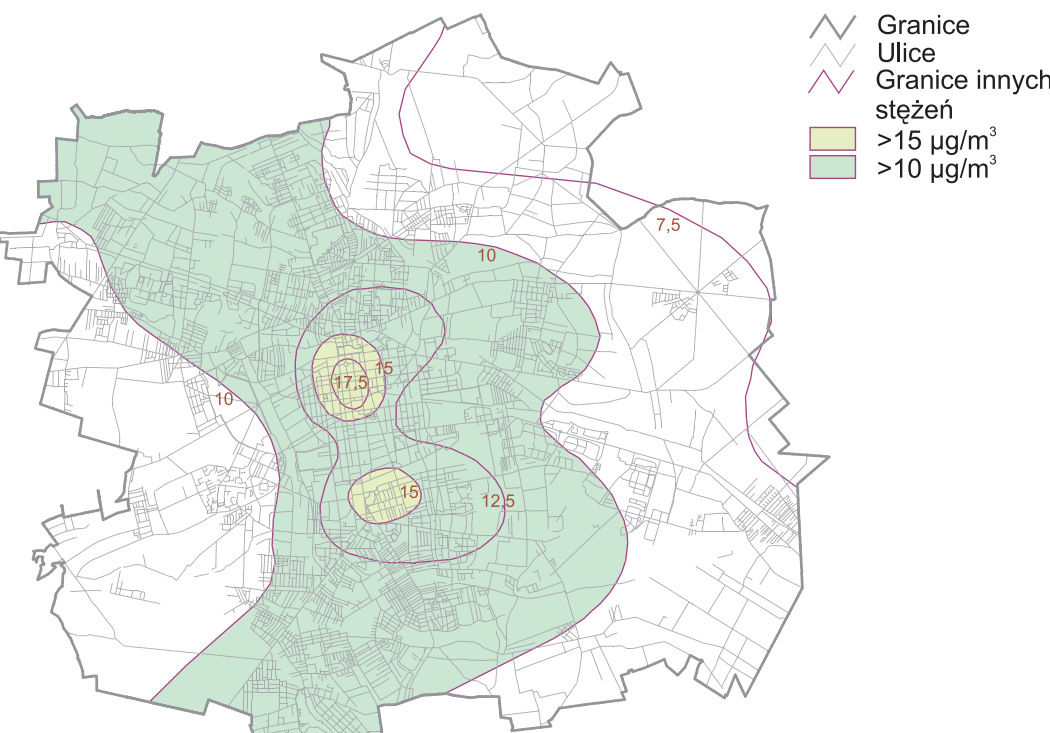
Krzysztof Rembowski, Janusz Fokczyński

7. Średnie stężenie SO₂ [µg/m³] w Łodzi w latach 1981-1985 (na podstawie pomiarów WSSE)



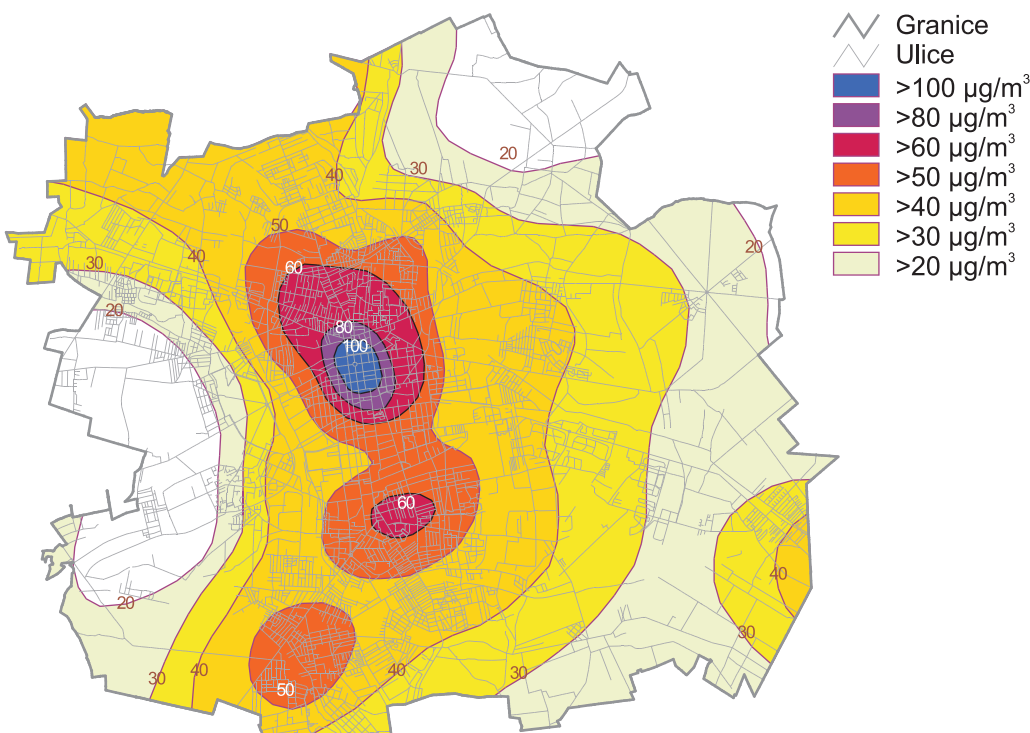
Krzysztof Rembowski, Janusz Fokczyński

8. Średnie stężenie SO₂ [µg/m³] w Łodzi w latach 1996-2000 (na podstawie pomiarów WSSE)



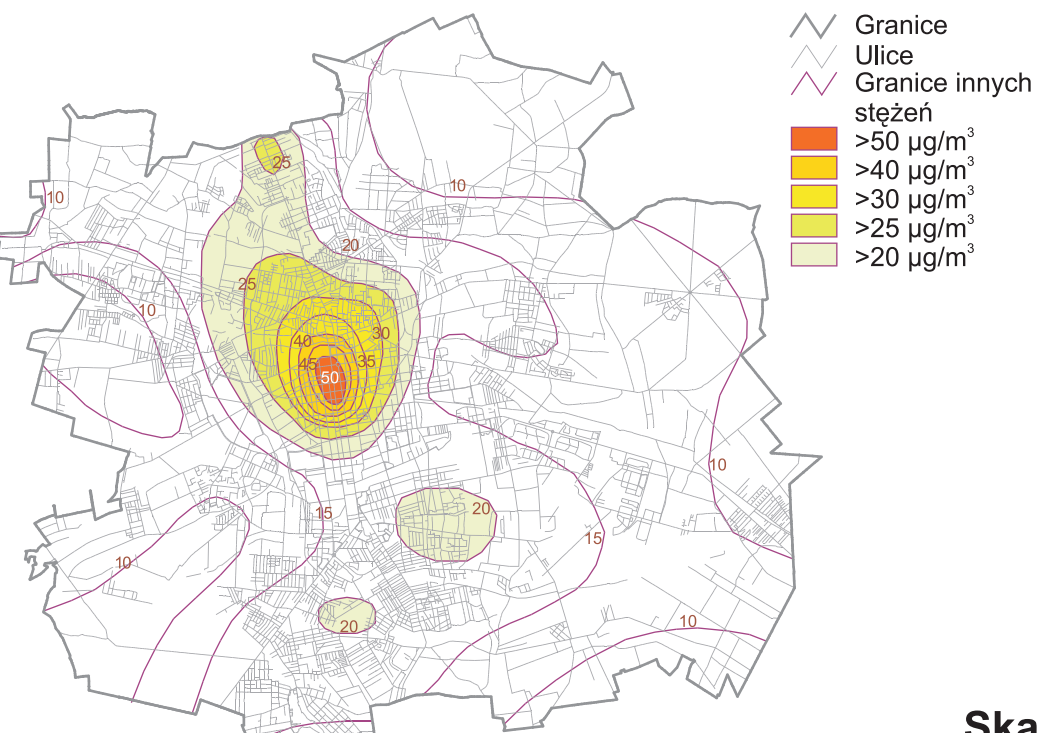
Krzysztof Rembowski, Janusz Fokczyński

9. Średnie stężenie pyłu zawieszonego (BS) [µg/m³] w Łodzi w latach 1981-1985 (na podstawie pomiarów WSSE)



Krzysztof Rembowski, Janusz Fokczyński

10. Średnie stężenie pyłu zawieszonego (BS) [µg/m³] w Łodzi w latach 1996-2000 (na podstawie pomiarów WSSE)



Krzysztof Rembowski, Janusz Fokczyński

Skala
1:200 000

ATLAS ŁODZI

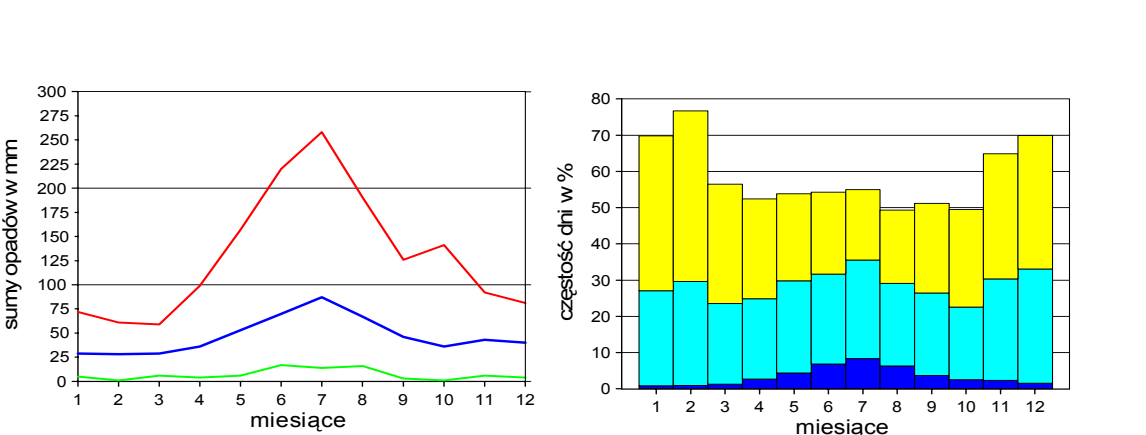
Plansza X: Klimat

Kazimierz Kłysik, Joanna Wibig, Krzysztof Fortuniak, Krzysztof Rembowski, Janusz Fokczyński, Agnieszka Podstawczyńska

W okresie 1931–1998 średnia roczna temperatura powietrza w Łodzi wynosiła 7,9°C. Najwyższa średnia roczna temperatura 9,6°C wystąpiła w 1989 r., a najniższą, wynoszącą zaledwie 6,0°C, zanotowano w 1956 r. Najwyższe temperatury występują zwykle w lipcu, w którym średnia miesięczna temperatura wynosi 18,0°C. W analizowanym okresie najcieplejszy był lipiec 1994 r. ze średnią miesięczną temperaturą 21,5°C, a najchłodniejszy lipiec 1979 r., w którym średnia miesięczna osiągnęła zaledwie 14,6°C. Najcieplejszym miesiącem analizowanego wielolecia był jednak sierpień 1992 r. o średniej miesięcznej 21,7°C. Najchłodniejszym miesiącem jest zazwyczaj styczeń. W analizowanym okresie średnia miesięczna temperatura w styczniu wyniosła –2,9°C. Najchłodniejszym był styczeń 1963 r., kiedy to średnia miesięczna temperatura osiągnęła –11,8°C, a najcieplejszym styczeń 1975 r. z temperaturą 3,1°C. Najbardziej mroźnym miesiącem był luty roku 1956, w którym średnia miesięczna temperatura osiągnęła –12,3°C. Absolutne minimum temperatury w Łodzi, zanotowano 17 stycznia 1963 r., temperatura powietrza spadła wówczas do –31,1°C. Absolutne maksimum wystąpiło 29 sierpnia 1992 r., temperatura osiągnęła tego dnia wartość 36,8°C.

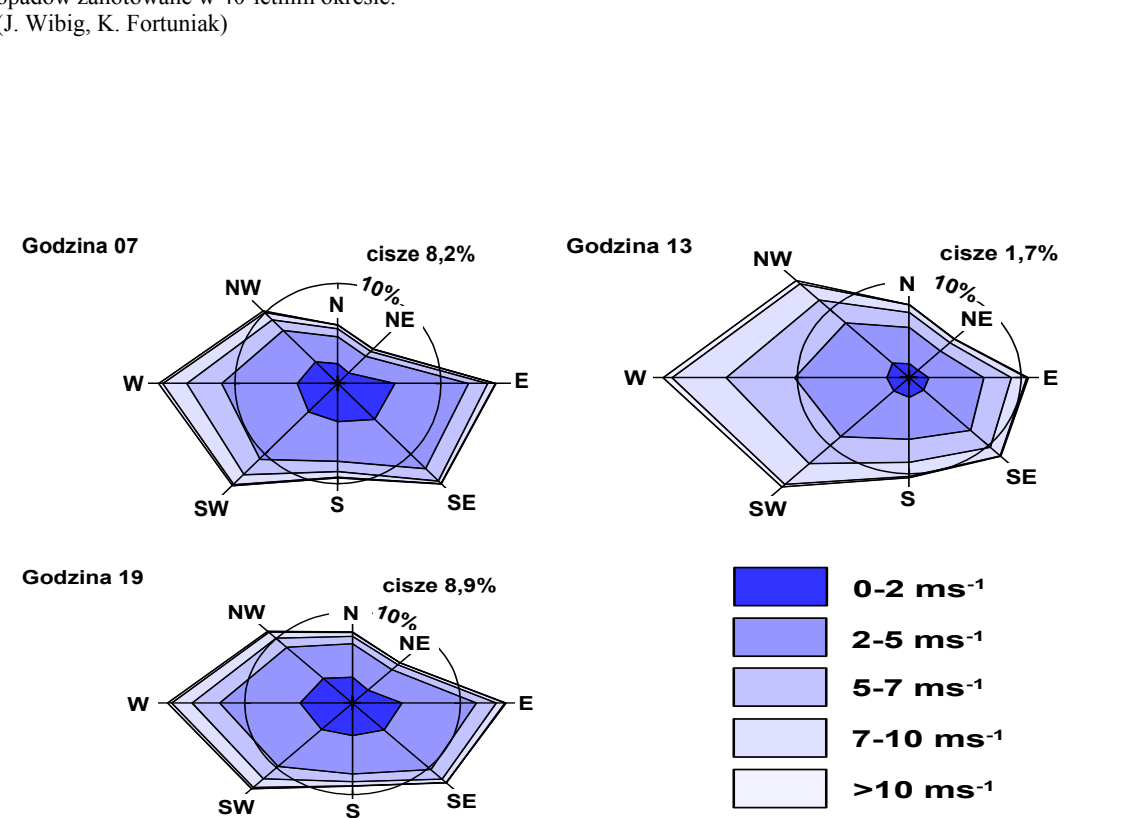
Opady atmosferyczne mają w Łodzi przebieg roczny charakterystyczny dla klimatu kontynentalnego (rys. 2). W okresie 1951–1998 miesiącem o średnio najwyższych opadach był lipiec, w którym średnie miesięczne sumy opadów wynosiły 86,4 mm. Najmniej opadów przypadało na luty, średnia miesięczna wynosiła wówczas jedynie 27,9 mm. W analizowanym okresie miesięczna suma opadów trzykrotnie przekroczyła 200 mm (w lipcu 1957 – 258,1 mm, lipcu 1997 – 256,3 mm i czerwcu 1980 – 229,5 mm). Najbardziej suchymi miesiącami były: październik 1951 z miesięczną sumą opadów 0,5 mm, luty 1976 (1,1 mm). Częstość dni z opadami atmosferycznymi (rys. 3) waha się w Łodzi od 49,4% w sierpniu do 76,6% w lutym. Najwięcej takich dni notuje się zimą (listopad-luty), najmniej późnym latem i wczesną jesienią (sierpień-październik). Dni z opadami poniżej 1 mm są najczęstsze zimą (47,0% w lutym, 42,8% w styczniu), a najrzadziej pojawiają się w lecie (19,5% w lipcu 120,2% w sierpniu). Dni z opadami od 1 do 10 mm rozłożone są bardziej równomiernie w ciągu roku. Najwięcej jest ich w grudniu (31,5%), a najmniej w październiku (20,1%). Dni z opadami przekraczającymi 10 mm występują najczęściej w lecie (8,3% w lipcu, 6,8% w czerwcu i 6,3% w sierpniu), a sporadycznie w zimie (0,8% w styczniu i 0,9% w lutym).

W latach 1931–1998 średnia roczna suma opadów atmosferycznych wynosiła 560,6 mm. Najwyższe opady wystąpiły w 1931 r. osiągając aż 780,6 mm, a najniższe w 1959 r. – zaledwie 363,9 mm. W Łodzi opady półrocza letniego (maj–październik) są zwykle wyższe od opadów półrocza zimowego (listopad–kwiecień). Średnio w półroczu letnim notuje się 354,6 mm opadów. Najmniej opadów było w półroczu letnim 1983 r. (193,2 mm), a najbardziej wilgotne półrocze letnie, z sumą wynoszącą 551,7 mm, wystąpiło w 1998 r. W półroczu zimowym spada przeciętnie 210,1 mm opadów, najniższą sumę zanotowano w sezonie 1958/59 (120,9 mm), a najwyższą w sezonie 1937/38 (353,6 mm). Najwyższe dobowe sumy opadów zanotowano w latach 1939 (103,5 mm), 1980 (99,8 mm) i 1957 (82,4 mm).



Rys. 2. Roczny przebieg średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych (linia niebieska) w Łodzi w latach 1951–1990. Zaznaczono najwyższe (linia czerwona) i najniższe (linia zielona) miesięczne sumy opadów zanotowane w 40-letnim okresie. (J. Wibig, K. Fortuniak)

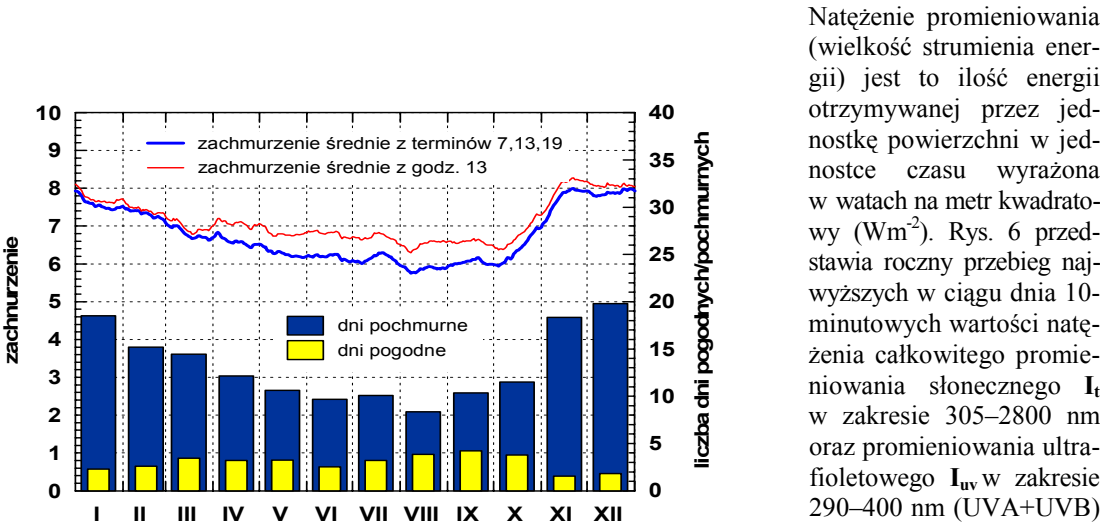
Rys. 3. Częstość dni z dobową sumą opadów poniżej 1 mm (pola żółte), od 1 do 10 mm (pola jasnoniebieskie) i powyżej 10 mm (pola ciemnoniebieskie) w Łodzi w latach 1951–1990 (J. Wibig, K. Fortuniak)



Rys. 4. Częstość występowania (w %) wiatrów z poszczególnych kierunków w przedziałach prędkości w Łodzi w latach 1951–1990 w trzech terminach obserwacyjnych: godz. 7.00, 13.00, 19.00. (K. Fortuniak, J. Wibig)

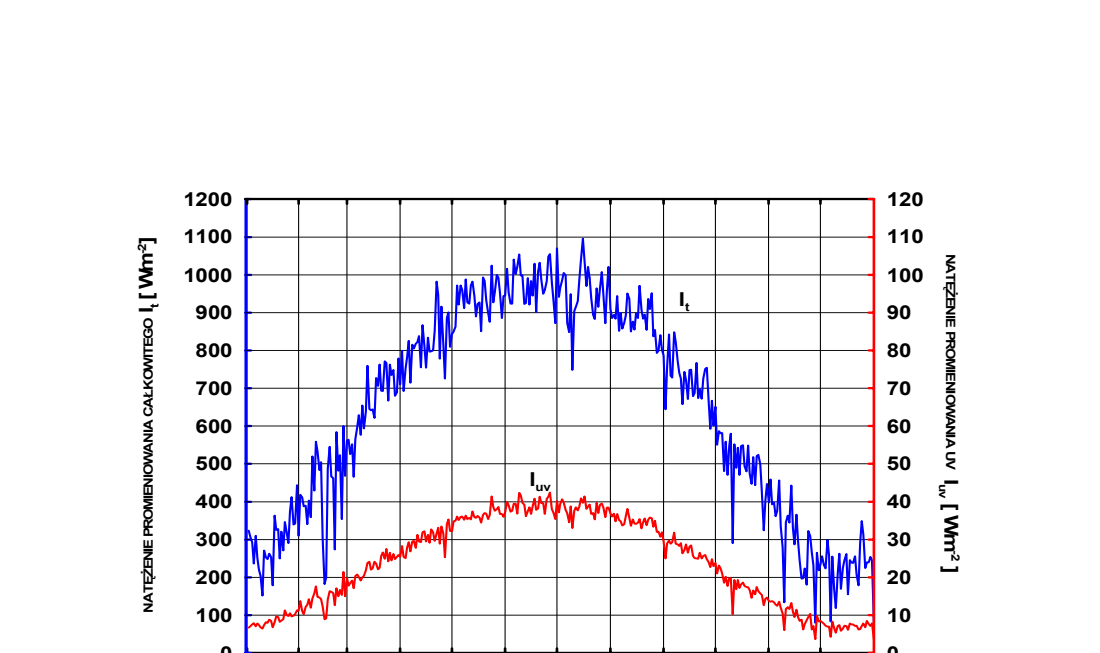
Charakterystyczną cechą warunków anemometrycznych w Łodzi jest wyraźna dominacja wiatrów z sektora zachodniego (szczególnie W i SW) oraz z sektora wschodniego (E i SE). Ilustrację takich prawidłowości stanowi rys. 4 przedstawiająca procentowy udział wiatrów z poszczególnych kierunków (zrw. róże wiatrów) w przedziałach prędkości w 3 terminach obserwacyjnych tj. o godz. 7.00, 13.00 i 19.00 (średnio z okresu 1951–1990). Bardzo istotną cechą warunków wiatrowych jest ich zmienność w rytmie dobowym. W szczególności charakterystyczne jest zwiększenie się częstości wiatrów o większych prędkościach (powyżej 5 m/s) i malejący udział cisz w południowym terminie obserwacyjnym. W nocy, a także w porannym i wieczornym terminie obserwacyjnym, wzrasta liczba cisz oraz procentowy udział wiatrów o małych prędkościach. Trzeba jednak zaznaczyć, że wykresy sporządzone są na podstawie danych ze stacji położonej na otwartym terenie zamieszkim (lotnisko Lublinek). Wśród zabudowy miejskiej prędkości wiatru są na ogół znacznie zredukowane.

Wielkość zachmurzenia ogólnego (uwzględniającego chmury wszystkich pięter i rodzajów) mierzona w skali 11-stopniowej wykazuje wyraźny przebieg roczny z maksimum w listopadzie i w grudniu i z najmniejszym zachmurzeniem w sierpniu i we wrześniu (rys. 5). Zachmurzenie w terminie południowym jest nieco większe niż średnio w ciągu całej doby, zwłaszcza w lecie, co wynika z dobowego rytmu zachmurzenia konwekcyjnego. Typowy przebieg roczny zachmurzenia znajduje również wyraz w rocznej zmienności liczby dni pochmurnych (zachmurzenie większe lub równe 8) z maksimum w zimie (listopad–styczeń) i minimum w okresie lata. Liczba dni pogodnych jest znacznie mniej zróżnicowana w ciągu roku, a niewielkie uprzywilejowanie obserwuje się w okresie jesiennym i wiosennym.



Rys. 5. Roczny przebieg zachmurzenia oraz częstość dni pogodnych i pochmurnych w Łodzi. Wartości z lat 1951-1990 z trzech terminów obserwacyjnych: godz. 7.00, 13.00, 19.00.(K. Fortuniak, J. Wibig)

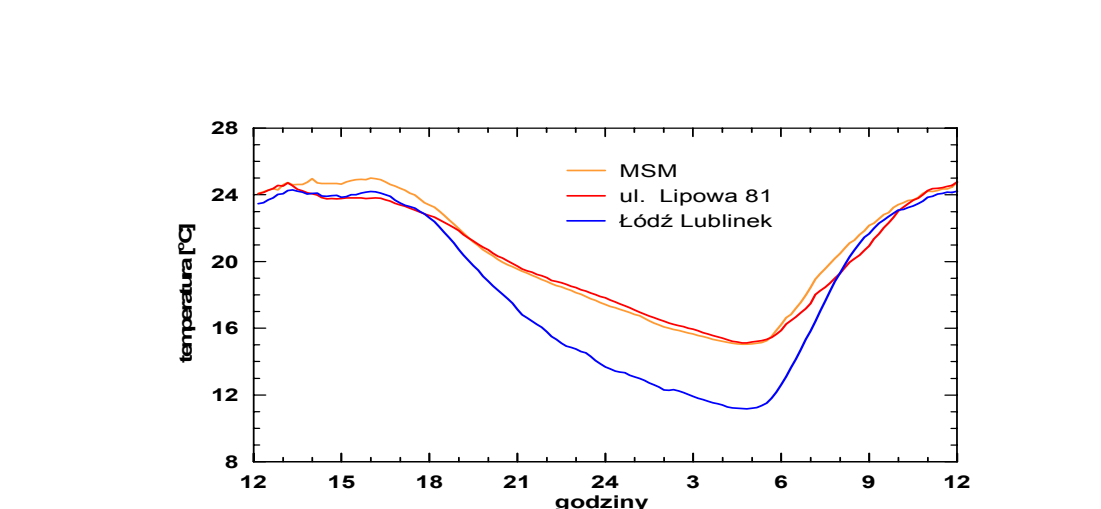
(400-760 nm) i podczerwone (>760 nm). Przebieg roczny promieniowania słonecznego jest zdeterminowany wysokością Słońca nad horyzontem, która zmienia się w Łodzi od 14,7° w grudniu do 61,7° w czerwcu. Najwyższe w roku wartości promieniowania słonecznego na górnej granicy atmosfery (szerokość geograficzna 51°45') wynoszą 1241,5 Wm² (I₁) i 111,0 Wm² (I_w). Najwyższą 10 minutową wartość natężenia promieniowania całkowitego, 1095,0 Wm² zanotowano 14 lipca 1997 roku, a promieniowania UV, 42,4 Wm², 25 czerwca 1999 roku w dniach z zachmurzeniem konwekcyjnym (cumulus congestus). Wysokie wartości natężenia promieniowania słonecznego są wynikiem tzw. efektu lustrzanego polegającego na wielokrotnym odbiciu promieniowania między podstawą chmur konwekcyjnych a powierzchnią Ziemi. Najniższe wartości natężenia promieniowania całkowitego i UV w ciągu dnia były obserwowane 24 grudnia 1997 roku (I_t=26 Wm⁻², = 1,1 Wm⁻²).



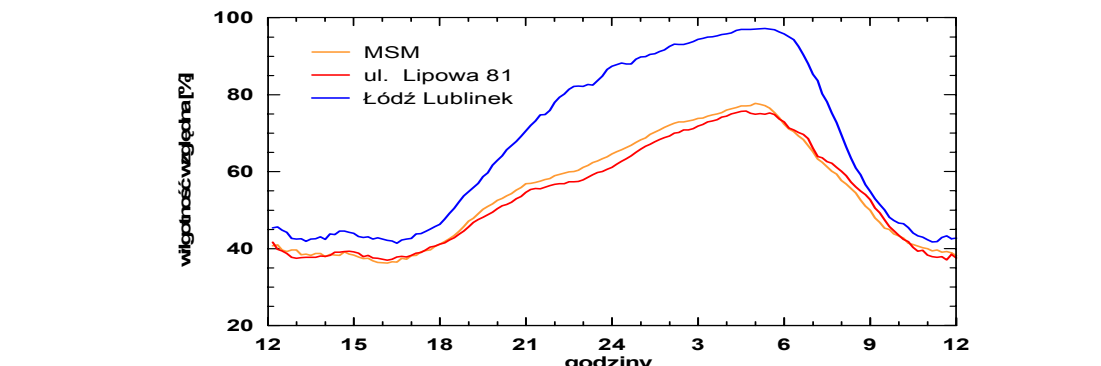
Rys. 6. Przebieg rocznych najwyższych 10-minutowych wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (I₁) i promieniowania ultrafioletowego (I_{UV}) w Łodzi (na podstawie danych z lat 1997–2000) (A. Podstawczyńska)

Zróźnicowanie klimatu lokalnego na obszarze miasta spowodowane jest głównie przez zwiększone pochłanianie promieniowania słonecznego przez powierzchnie sztuczne (dachy, asfalty, chodniki). Dużą rolę odgrywa zmniejszenie strat ciepła na parowanie z powierzchni miejskich w porównaniu z terenami zamieszkimi, a także magazynowanie ciepła przez mury budowli w ciągu dnia i powolne jego wypromieniowywanie w okresie nocy. Ważnymi przyczynami istnienia tzw. „miejskiej wyspy ciepła” jest także ciepło sztuczne, wydzielane do atmosfery miasta jako skutek zużycia energii w różnych postaciach (ogrzewanie, transport, elektryczność, procesy technologiczne w przemyśle). Mapy 1 i 2 przedstawiają zróźnicowanie przestrzenne strumienia ciepła antropogenicznego średnio w styczniu i w lipcu, obliczone na podstawie danych z roku 1985. Warto zauważyć, że w okresie zimowym ilość ciepła dostarczanego do atmosfery w wyniku działalności człowieka jest większa niż ilość ciepła słonecznego docierającego do powierzchni czynnej. Wielkość ciepła sztucznego w Łodzi jest porównywalna z emisją ciepła w innych wielkich miastach umiarkowanej strefy klimatycznej w Europie i w Ameryce. W lecie czynnik ciepła sztucznego odgrywa mniejszą rolę klimatotwórczą. Mapa 3 obrazuje rozkład przestrzenny współczynnika szorstkości powierzchni miasta (zabudowy trwałej) obliczonego dla kierunku przepływu powietrza wzdłuż osi W-E. Wielkość tego współczynnika, wyrażanego w jednostkach długości (cm) jest miarą oporu aerodynamicznego jaki zabudowa miejska stawia przepływającej masie powietrza, i jest używana do oceny wpływu podłoża na charakter ruchu powietrza w warstwie przyziemnej. Najogólniej biorąc można stwierdzić, że centralne rejony miasta stanowią bardzo zwartą zaporę i utrudnienie dla właściwej wentylacji miasta. Niektóre peryferyjne dzielnice wysokich mieszkalnych są natomiast często narażone na zbyt silne wiatry, niekorzystnie oddziałujące na organizm człowieka.

Najbardziej spektakularnym przejawem osobliwości klimatu Łodzi jest istnienie nadwyżki ciepła w mieście w porównaniu do terenów zamieszkich. Miejska wyspa ciepła występuje średnio w ciągu około 75% nocy w roku. W zależności od warunków meteorologicznych przyjmuje ona bądź formę „komórkową” (mapa 4), bądź formę uogólnioną (mapa 5). Przykład z dnia 5/6 lutego 1996 r. ilustruje najintensywniejsza postać wyspy ciepła – różnice temperatury pomiędzy centrum miasta a peryferyjnymi polami w okolicy Konstantynowa dochodziły nawet do 12°C. (warunki bezwietrzne i bezchmurne w zimie). Takie rekordowe różnice zanotowane były tylko w niewielu miastach na świecie.



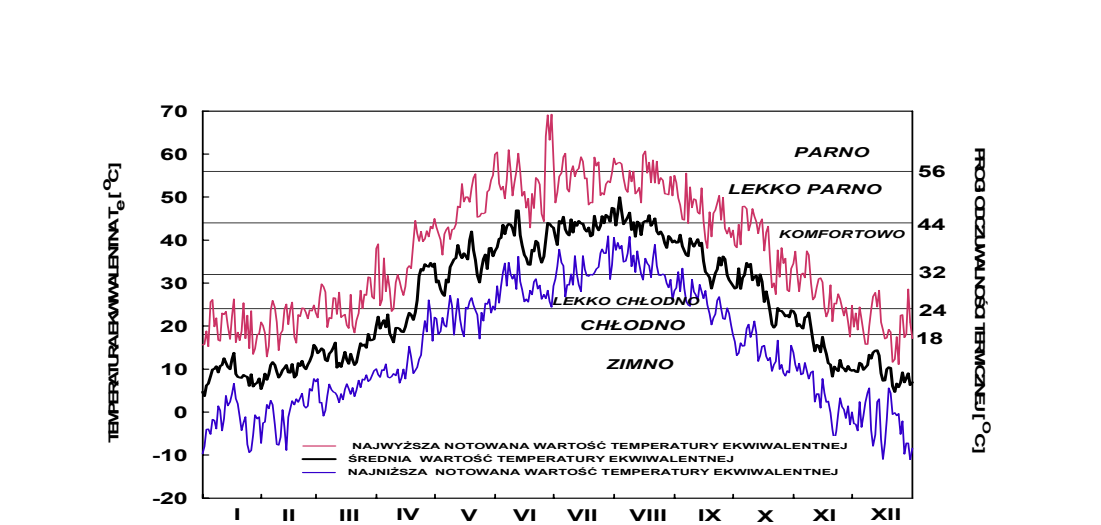
Rys. 7. Porównanie średniego dobowego przebiegu temperatury w mieście i poza miastem w przypadku dni pogodnych i bezwietrznych (wartości średnie z 14 dni z lat 1997–1999) (K. Fortuniak, K. Kłysik)



Rys. 8. Porównanie średniego dobowego przebiegu wilgotności względnej w mieście i poza miastem podczas pogody bezchmurnej i bezwietrznej (wartości średnie z 14 wybranych dni z lat 1997–1999) (K. Fortuniak, K. Kłysik)

Zwykle miejska wyspa ciepła występuje w postaci uogólnionej (przy słabym wietrze, do 3–4 m/s), a jej natężenie sięga 3–4°C (mapa 5 i rys. 7). Istnienie nocnej wyspy ciepła wywołuje szereg skutków wtórnych, m. in. znacznie mniejsza jest w mieście wilgotność względna powietrza (rys. 8). W ciągu dnia nad miastem obserwuje się zwiększoną konwekcję, może występować lokalna cyrkulacja o charakterze „bryzy miejskiej”, szybciej topnieje pokrywa śnieżna itp. Ciepło miejskie jest także przyczyną istnienia swoistych warunków bioklimatycznych.

Warunki bioklimatyczne (klimat odczuwalny) charakteryzowany jest zwykle za pomocą różnorodnych wskaźników kompleksowych opisujących wpływ pogody na organizm człowieka. Popularnym wskaźnikiem odczucia cieplne jest temperatura ekwiwalentna, definiowana jako temperatura, którą przyjąłoby powietrze, gdyby przy stałym ciśnieniu cała para wodna w nim zawarta uległa kondensacji, a wydzielone ciepło ogrzałoby suche powietrze. Rycina 9 przedstawia roczny przebieg średnich oraz najniższych i najniższych wartości temperatury ekwiwalentnej T_{ek} dla godziny 13.00 notowanych w centrum Łodzi w latach 1992-2000. Wskaźnik T_{ek} obliczono z wzoru K. Prötte T_{ek}= t + 1,5·e, gdzie *t* oznacza temperaturę powietrza (°C), *e* prężność pary wodnej (hPa). Odczucie „zimna” (T_{ek} < 18°C) pojawia się średnio około drugiej dekady listopada i trwa średnio do pierwszej dekady kwietnia. W okresie 1992–2000 wartości wskaźnika T_{ek} odpowiadające odczuciu zima pojawiały się już w początkach października i występowały jeszcze w maju. Warunki komfortowe (32°C < T_{ek} < 44°C) panują średnio od maja do połowy września. Stan parności (T_{ek} > 56°C) występuje rzadko i może pojawiać się od maja do końca sierpnia. Największy zakres wahań temperatury ekwiwalentnej, sięgający 44 °C, cechuje czerwiec i listopad, najniższy, jedynie 33 °C, występuje w lipcu.

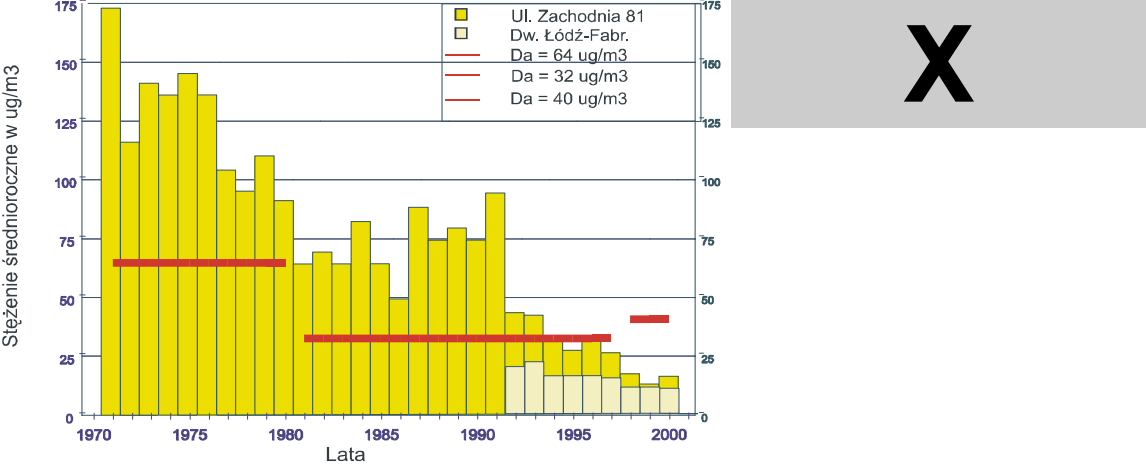


Rys. 9. Przebieg roczny temperatury ekwiwalentnej T_{ek} [°C] dla godziny 13.00 na Miejskiej Stacji Meteorologicznej w latach 1992–2000 (A. Podstawczyńska, K. Kłysik)

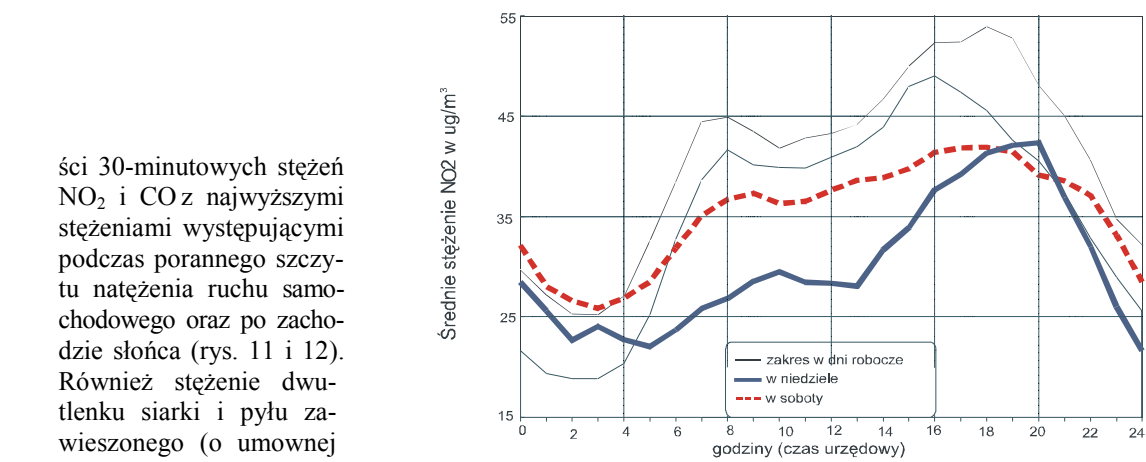
Największe stężenia zanieczyszczeń występowały zawsze w śródmieściu, osiągając średnioroczne wartości: 83 µg SO₂/m³ (1984), 128 µg pyłu/m³ (1985), przy obecnej normie dopuszczalnych stężeń odpowiednio 40 i 50 µg/m³ (mapy 6 i 7). W roku 2000 wielkości te spadły do 15 µg SO₂/m³ i 59 µg pyłu/m³ (ilustrują to mapy 8 i 9) W miarę oddalenia od centrum wartości te zmniejszają się do 4–6 µg SO₂/m³ oraz 8 µg pyłu/m³. Stężenia NO₂ nie przekraczają (poza głównymi ulicami) dopuszczalnej normy dobowej (D₂₄= 150 µg/m³), ani ostatnio nawet normy rocznej Da = 40 µg/m³ (mapa zima).

Zanieczyszczenie powietrza w mieście pogarsza warunki życia ludzi. W dużych stężeniach jest ono uciążliwe głównie dla układu oddechowego, zwłaszcza ludzi starszych i dzieci. Obecnie występowanie największych wartości stężeń głównych zanieczyszczeń powietrza w Łodzi jest bardziej rezultatem oddziaływania licznych niskich źródeł zanieczyszczeń niż wysokich emitorów przemysłowych. Wzdłuż ruchliwych ulic dodatkowo nakładą się oddziaływanie emisji komunikacyjnej.

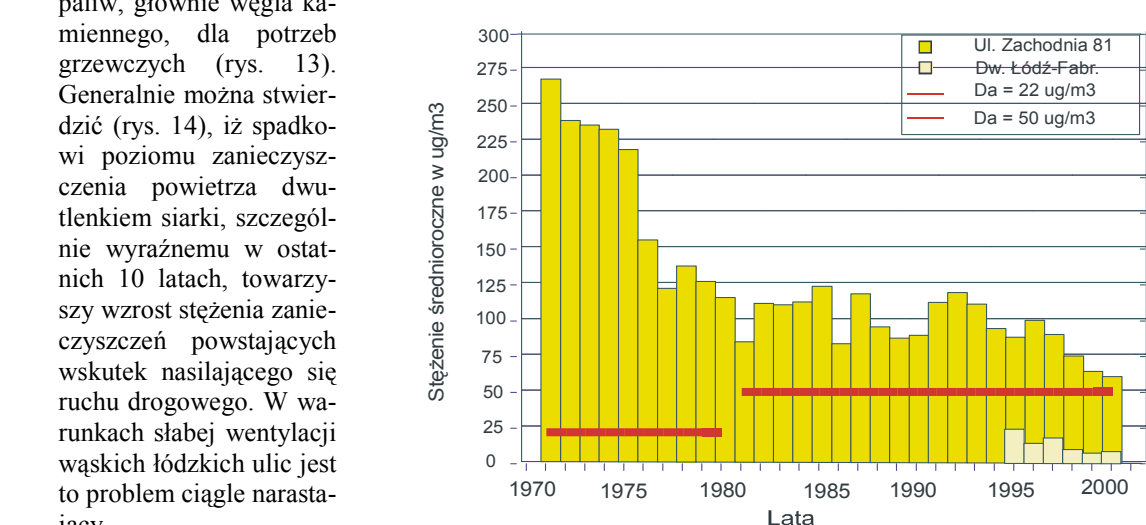
Największe stężenia zanieczyszczeń występowały zawsze w śródmieściu, osiągając średnioroczne wartości: 83 µg SO₂/m³ (1984), 128 µg pyłu/m³ (1985), przy obecnej normie dopuszczalnych stężeń odpowiednio 40 i 50 µg/m³ (mapy 6 i 7). W roku 2000 wielkości te spadły do 15 µg SO₂/m³ i 59 µg pyłu/m³ (ilustrują to mapy 8 i 9) W miarę oddalenia od centrum wartości te zmniejszają się do 4–6 µg SO₂/m³ oraz 8 µg pyłu/m³. Stężenia NO₂ nie przekraczają (poza głównymi ulicami) dopuszczalnej normy dobowej (D₂₄= 150 µg/m³), ani ostatnio nawet normy rocznej Da = 40 µg/m³ (mapa zima). Z górą trzydziestoletnie pomiary imisji prowadzone w Łodzi przez WSSE i kilkunastoletnie pomiary wykonywane przez WIOŚ i niektóre zakłady przemysłowe dokumentują zmniejszanie stężenia dwutlenku siarki (rys. 10). Występuje wyraźny roczny i dobowy (a nawet tygodniowy) rytm przebiegu warto



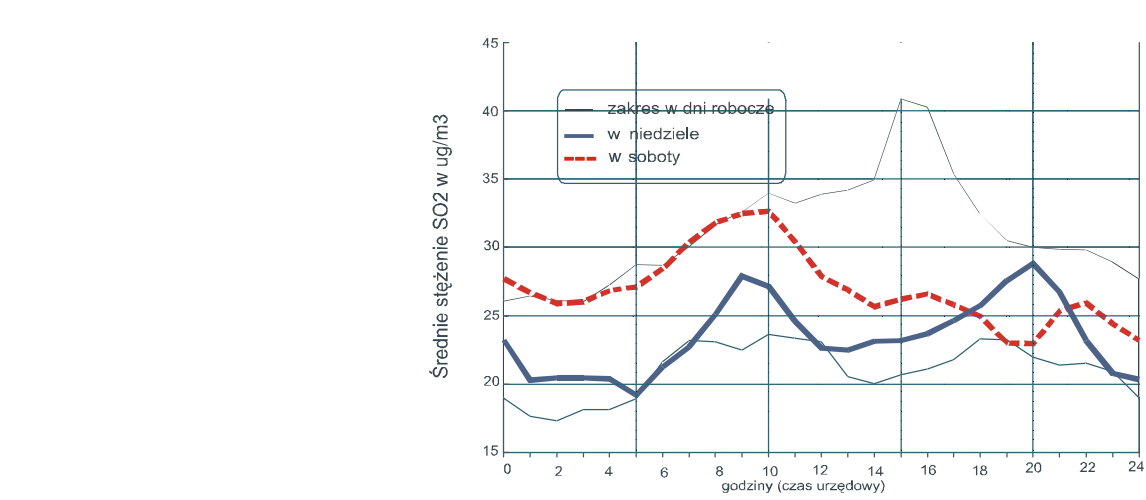
Rys. 10. Średnioroczne wartości stężeń SO₂ w latach 1971–2000 na stacji pomiarowej WSSE w Łodzi przy ul. Zachodniej 81 i WIOŚ przy dworcu Łódź-Fabryczna (K. Rembowski, J. Fokczyński)



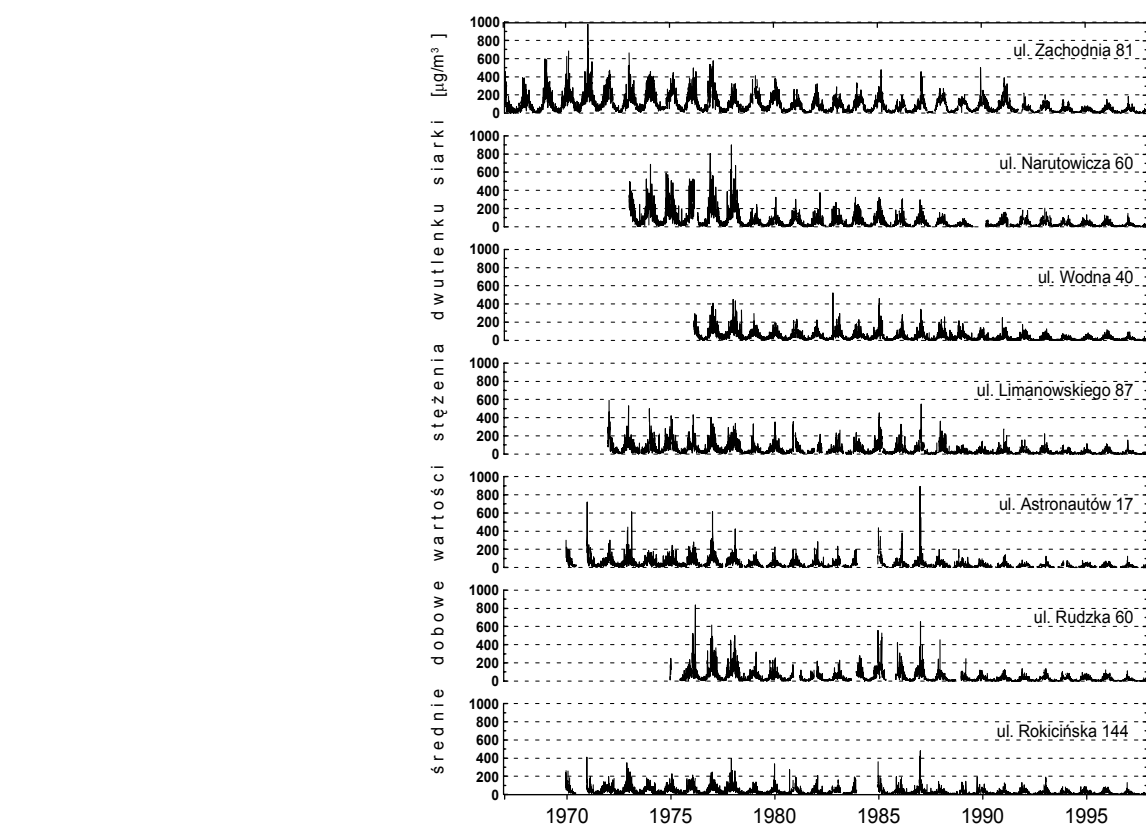
Rys. 11. Średnie stężenie SO₂ (z S60) wg dni tygodnia i pory doby średnio w półroczu XI.1998–IV.1999 – w Łodzi, wzdłuż odcinka ulicy Piotrkowskiej, numery 120–179 (J. Fokczyński, K. Rembowski)



Rys. 12. Średnioroczne wartości stężeń pyłu zawieszonego w latach 1971–2000 na stacji pomiarowej WSSE w Łodzi przy ul. Zachodniej 81 i WIOŚ przy dworcu Łódź-Fabryczna. (K. Rembowski, J. Fokczyński)



Rys. 13. Średnie stężenie SO₂ (z dwugodzinnych) wg dni tygodnia i pory doby średnio w półroczu XI. 1998 – IV. 1999 w śródmieściu Łodzi (J. Fokczyński, K. Rembowski)



Rys. 14. Przebieg wieloletni stanu zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w Łodzi (wybrane punkty pomiarowe) (K. Fortuniak, K. Kłysik)