

Klimat Warszawy

- elementy klimatu miasta
- korytarze wymiany powietrza
- miejska wyspa ciepła
- Roczny Indeks Jakości Powietrza
- bonitacja przewietrzania
- warunki komfortu aerosanitarnego

Klimat Warszawy

Wprowadzenie

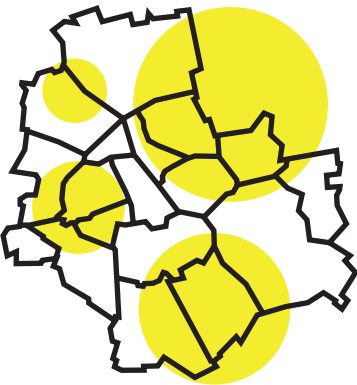
W 2017 roku Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego w Urzędzie m.st. Warszawy zleciło opracowanie raportu pod tytułem: „Potencjał do kształtowania warunków klimatycznych – w tym wymiany i regeneracji powietrza w Warszawie”. Liderem zespołu autorskiego złożonego ze specjalistów reprezentujących różne instytucje została firma ATMOTERM S.A. W pracach zespołu brali także udział przedstawiciele Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Politechniki Warszawskiej, ATMOTERM-u Inżynierii Środowiska i Pracowni Urbanistycznej KANON. Ich zadaniem było przeanalizowanie specyficznych cech klimatu Warszawy, warunków meteorologicznych, źródeł zanieczyszczenia i jakości powietrza. Wyniki modelowania matematycznego oraz analiz przestrzennych zostały przedstawione na mapach.

Pierwsza z nich to mapa bonitacji terenów Warszawy pod względem warunków przewietrzania, gdzie głównym kryterium klasyfikacji terenów jest prędkość wiatru na wysokości 10 m nad poziomem terenu.

Druga prezentuje roczny indeks jakości powietrza, gdzie uwzględniono trzy zanieczyszczenia: pył zawieszony PM₁₀ i PM_{2,5} oraz dwutlenek azotu. Wszystkie trzy mają wyznaczone poziomy dopuszczalne, które są czasami przekraczane na terenie Warszawy.

Trzecia mapa – pokazująca warunki komfortu aerosanitarnego, jest efektem złożenia dwóch poprzednich, czyli jest mapą wynikową. Pokazuje ona różne kategorie terenów, m.in. te, które mimo słabego przewietrzania cechują się dobrym indeksem jakości powietrza.

Przeprowadzono numeryczne analizy aerodynamiczne, których zadaniem była ocena wpływu sposobu zagospodarowania terenu



(szczególnie zabudowy) na swobodny przepływ powietrza, czyli wietrzność w dwóch korytarzach wymiany i regeneracji powietrza: korytarzu mokotowskim i bemowskim.

Ważnym elementem były badania zmienności przestrzennej zanieczyszczeń powietrza na terenie Warszawy, do których wykorzystano m.in. informacje o wielkości emisji z różnych rodzajów źródeł.

Przedstawiono wpływ źródeł emisji na wielkość stężeń zanieczyszczeń w powietrzu. Na podstawie pomiarów prowadzonych przez WIOŚ w Warszawie zilustrowano zmiany jakości powietrza w Warszawie na przestrzeni lat 2000-2016 w zakresie pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5}, benzo(a)pirenu, dwutlenku azotu oraz ozonu.

Autorzy opracowania odpowiedzieli również na podstawowe pytania:

- Czy korytarze wymiany i regeneracji powietrza pełnią rolę, którą im wiele lat temu przypisali urbaniści?
- Czy zabudowa, która powstała na terenie korytarzy, stanowi barierę dla przewietrzania Warszawy?
- Czy jedynym antidotum na zanieczyszczenie powietrza w mieście są „kliny napowietrzające”? I czy rzeczywiście pompowane jest nimi do centrum Warszawy czyste, świeże powietrze?

Na te i inne pytania staramy się odpowiedzieć w broszurze, która jest streszczeniem podstawowych wyników raportu pod tytułem „Potencjał do kształtowania warunków klimatycznych – w tym wymiany i regeneracji powietrza w Warszawie”. Życzymy Państwu ciekawej lektury, licząc na to, że wiele opisanych w niej zjawisk i problemów stanie się bardziej zrozumiałych oraz łatwiej je będzie wspólnie rozwiązywać.

Adaptacja odpowiedzią na zmiany klimatu

Skutki zmian klimatu, zwłaszcza wzrost temperatury powietrza oraz coraz częściej występujące gwałtowne ulewy, burze, wichury i inne pogodowe zjawiska ekstremalne dają się we znaki warszawiakom. Ich skutki są często katastrofalne, a wyrządzone szkody nieodwracalne. Mieszkańcy miast, które są ogromnymi skupiskami ludzi, budynków i infrastruktury o różnych funkcjach oraz majątku są szczególnie narażeni na negatywne skutki zmian klimatu. Najbardziej wrażliwe na zmiany klimatu są sektory zdrowia publicznego, gospodarki wodnej, transportu i energetyki oraz gospodarki przestrzennej. Dlatego Warszawa oraz największe miasta w Polsce przygotowują swoje miejskie plany lub strategie adaptacji do zmian klimatu. Warszawska strategia adaptacyjna powstająca w ramach projektu ADAPTCITY* ma na celu zaplanowanie takich działań, które pozwolą na zredukowanie negatywnych skutków zmian klimatu. Opracowana na potrzeby projektu ADAPTCITY mapa ryzyka klimatycznego (2014) pozwala ocenić, w jaki sposób poszczególne obszary i sektory mogą reagować na zmieniającą się pogodę. Mapy tematyczne, które zostały opracowane na potrzeby projektu, są udostępnione pod adresem:

<http://mapa.um.warszawa.pl> w zakładce ADAPTCITY.

Strategia Adaptacji do zmian klimatu dla Warszawy to wybór rozwiązań zapewniających wzmocnienie odporności miasta na skutki klęsk żywiołowych czy innych negatywnych zjawisk, jak np. długotrwałe upały, deszcze nawalne, susze. Dobra strategia adaptacji wpłynie na poprawę bezpieczeństwa mieszkańców Warszawy, zmniejszając zagrożenia dla ich zdrowia, a często także życia.

* Partnerami projektu „Przygotowanie strategii adaptacji do zmian klimatu miasta metropolitalnego przy wykorzystaniu mapy klimatycznej i partycypacji społecznej” – ADAPTCITY są Miasto Stołeczne Warszawa, Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju (lider projektu), Unia Metropolii Polskich oraz Verband Region Stuttgart.



Już obecnie średnie temperatury roczne notowane w Warszawie są podobne do tych, które przez ostatnie 250 lat były charakterystyczne dla miast położonych zdecydowanie bardziej na południe, tj. Bratysławy czy Budapesztu. Nie oznacza to jednak, że teraz będziemy mieli pogodę podobną do tej, jaką mamy w tych miastach, gdyż klimat jest zależny również od wielu innych czynników, takich jak położenie geograficzne, siła i kierunek wiatru, ciśnienie powietrza oraz ukształtowanie terenu i sposób jego zagospodarowania.

Jak zmienia się klimat w Warszawie?

Z danych dotyczących temperatury powietrza w Warszawie wynika, że w ciągu ostatnich 250 lat były w Warszawie okresy cieplejsze i chłodniejsze. Z reguły jednak średnia temperatura w ciągu roku nie była niższa niż 7°C, ani też nie przekroczyła 8°C. Tak było do lat 90. XX wieku. Ostatnia dekada ubiegłego wieku rozpoczęła trwający do dzisiaj okres, gdy średnie temperatury roczne w mieście przekraczają 8°C i jest to trend wyraźnie rosnący. Wykorzystując najnowsze modele zmian klimatu, sporządzono na potrzeby projektu ADAPTCITY prognozę zmian klimatu dla Warszawy, opartą na pomiarach temperatury i opadów z terenu Warszawy. Prognoza mówi, że średnia roczna temperatura powietrza będzie nadal wzrastać, co wpłynie na zmiany pogody i warunki życia w mieście. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że:

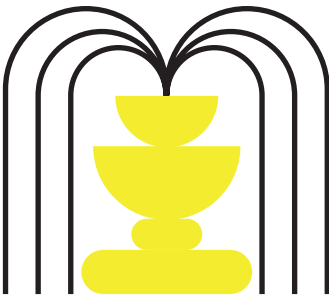
- Wzrośnie liczba dni i nocy bardzo ciepłych w ciągu roku oraz wydłuży się okres występowania tych dni – wydłuży się lato, które zacznie się już późną wiosną i skończy wczesną jesienią. Dotychczas bardzo ciepłych dni w roku mieliśmy ok. 40, głównie w lipcu i sierpniu, a w połowie XXI wieku będzie ich ponad 45, także w czerwcu i we wrześniu. Dokuczliwość upałów dla mieszkańców miasta dodatkowo potęgowana jest przez zabudowę miejską oraz zanieczyszczenia powietrza (patrz miejska wyspa ciepła). Temperatura w Śródmieściu jest wyższa niż na przedmieściach Warszawy, a liczba gorących nocy jest nawet czterokrotnie wyższa. Gorące noce, z temperaturą minimalną powyżej 20°C, powodują kłopoty ze snem i dodatkowe zmęczenie organizmu.

- Spadnie liczba dni mroźnych oraz skróci się okres zalegania śniegu w zimie. W połowie XXI wieku liczba dni z maksymalną temperaturą poniżej 0°C spadnie z ok. 35 obecnie do ok. 25. Koszty odśnieżania ulic zapewne zmaleją, ale uciążliwym komarom czy kleszczom łatwiej będzie przeżyć zimę.
- Wzrośnie liczba dni z ulewnym deszczem w ciągu roku i wzrośnie maksymalna wartość opadu dobowego powyżej 80 mm/m². Obecnie ulewy zdarzają się 12 razy w ciągu roku. Około 2050 roku ulewy będą występowały 15 razy. Na większe sumy opadów może być narażona południowa i wschodnia część Warszawy.
- Wzrośnie częstotliwość występowania fal powodziowych na Wiśle oraz jej dopływach w obrębie miasta, takich jak np. rzeki Wilanówka i Długa, Potok Służewiecki czy Kanały Bródnowski i Goctawski.
- Wzrośnie siła wiatru w przypadkach przesuwania się frontów atmosferycznych nad miastem.

Jak zmieni się życie w mieście?

Dane na temat stanu miejskiej infrastruktury, terenów zieleni czy reakcji mieszkańców miasta na zjawiska pogodowe pozwoliły ocenić, w jaki sposób poszczególne tereny czy sektory mogą zareagować na zmiany klimatu. Wysokie ryzyko dotyczy wystąpienia następujących negatywnych skutków zmian klimatu w mieście:

- Każdy dodatkowy dzień upalny przynosi ponad 5 dodatkowych zgonów wśród warszawiaków, głównie wśród osób starszych i z chorobami płuc. Takich osób w Warszawie przybywa, ze względu na ogólny trend starzenia się społeczeństwa oraz wpływ zanieczyszczenia powietrza na zdrowie mieszkańców.
- W upalne dni dochodzi do ogrzania powierzchni miasta nawet do temperatur rzędu 43°C i więcej. Taka temperatura może deformować tory kolejowe czy tramwajowe lub topić uliczny asfalt. Trwające ponad 10 dni okresy



Strategia Adaptacji do zmian klimatu dla Warszawy zawiera szereg działań, które mają zapobiegać m.in. podtopieniom, mają łagodzić skutki upałów, silnego wiatru czy powodzi, wykorzystując instrumenty i rozwiązania będące domeną samorządu stolicy. Ale skuteczna realizacja Strategii zależy również od zaangażowania mieszkańców i współpracy władz gmin sąsiadujących z Warszawą.

upalne, połączone z suszą, mogą spowodować ograniczenie dostaw energii elektrycznej dla miasta lub niespodziewane wyłączenie prądu. Mieszkańcy mogą znaleźć ochłodę w takich przypadkach na terenach zieleni (w parkach, ogrodach, lasach), w okolicach fontann oraz lokalnych zbiorników wodnych.

- Skutki susz mogą być szczególnie dotkliwe dla miejskiej zieleni (lasów, łąk i zbiorowisk roślinnych), która jest ważnym elementem Systemu Przyrodniczego Warszawy. Warszawa ma ubogi układ hydrograficzny (rzeki, potoki, kanały, jeziora i stawy), a duży udział powierzchni nieprzepuszczalnych (chodników, dróg) powoduje, że woda spływa do kanalizacji i nie zasila gleby oraz wód podziemnych, z których rośliny mogłyby czerpać wilgoć w czasie suszy.
- Ulewy z opadem powyżej 20 mm/m²/dobę będą powodować podtopienia i zakłócenia w funkcjonowaniu infrastruktury miejskiej, np. transportowej czy kanalizacyjnej, co przyczyni się do zalewania domów (głównie piwnic) i terenów niżej położonych. W latach 2008–2014 ze wszystkich zagrożeń meteorologicznych największe straty materialne w Warszawie spowodowały ulewy.
- Silny wiatr jest powodem największej liczby drobnych lub obszarowych uszkodzeń infrastruktury miejskiej, budynków mieszkalnych oraz terenów zieleni. Silny wiatr może być przyczyną lokalnych przerw w dostawie prądu, a także wypadków, które pociągają za sobą ofiary śmiertelne.
- Powódź może zagrozić znacznemu obszarowi Warszawy – licznym budynkom oraz kluczowej infrastrukturze miejskiej, w tym odpowiadającej za zaopatrzenie w wodę, odprowadzanie ścieków i produkcję prądu. Taki scenariusz możliwy jest jednak tylko wtedy, gdy wody Wisły i innych rzek nie zostaną utrzymane na terenie położonym między wałami przeciwpowodziowymi. Wszystkie obiekty położone w międzywałach mogą być zniszczone.

Jaka pogoda w Warszawie

Prezentowana na kolejnych stronach charakterystyka klimatyczna miasta została opracowana na podstawie danych z lat 2007 – 2016, pozyskanych ze stacji meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Warszawa-Okęcie. Stacja położona jest na peryferiach miasta, w odległości około 8 km, na południowy zachód od centrum, na wysokości 110 m n.p.m. Obszar wokół stanowiska pomiarów jest wyrównany. W otoczeniu stacji znajdują się pasy startowe oraz kompleks budynków wieży lotniczej. Niewielką część otoczenia stanowi także teren zalesiony. Wyniki ze stacji pomiarowej traktować można jako reprezentatywne dla Warszawy.

Klimat to jeden z głównych komponentów środowiska geograficznego. Odgrywa on kluczową rolę w funkcjonowaniu każdego ekosystemu. W naturalnych warunkach klimat kształtowany jest przez kilka grup czynników:

- radiacyjne – związane z promieniowaniem słonecznym,
- wilgotnościowe – związane z opadami atmosferycznymi,
- cyrkulacyjne – związane z wiatrem.

O przewadze jednych czynników klimatotwórczych nad innymi decydują w głównej mierze położenie geograficzne i warunki lokalne. Upraszczając, można przyjąć, że nad obszarem Polski głównym czynnikiem klimatotwórczym jest cyrkulacja atmosferyczna, czyli ruch powietrza nad powierzchnią Ziemi. Taka charakterystyka odnosi się przede wszystkim do większych jednostek geograficznych (np. krain, regionów) i dłuższych okresów czasu. Miasta, jako mniejsze obiekty geograficzne, wymagają bardziej szczegółowego opisu, w którym olbrzymią rolę odgrywają warunki lokalne.

Patrząc w skali makro, Warszawa położona jest w strefie klimatu umiarkowanego – przejściowego. W ciągu roku nad miastem przepływają masy powietrza kontynentalnego i oceanicznego, czego skutkiem jest duże zróżnicowanie warunków pogodowych na obszarze Warszawy. Przeważają masy powietrza polarno-morskiego oraz, nieco rzadziej, powietrza kontynentalnego. Rzadkością natomiast jest napływ mas arktycznych oraz suchych i gorących mas z okolicy zwrotnika.

Schodząc do skali mikro, pamiętać należy, że na Warszawę poza zewnętrznymi uwarunkowaniami klimatycznymi, wpływają lokalne uwarun-

Elementy, z których składa się klimat to: usłonecznienie, temperatura, opady atmosferyczne, mgła, wiatr, cisze, róże wiatru, ciśnienie atmosferyczne

kowania środowiskowe oraz zagospodarowanie obszaru miasta. O poszczególnych elementach klimatu Warszawy (temperaturze, opadach, wietrze itd.) decydują więc procesy globalne, które napotyka specyficzne lokalne warunki.

Grupy czynników kształtujących klimat



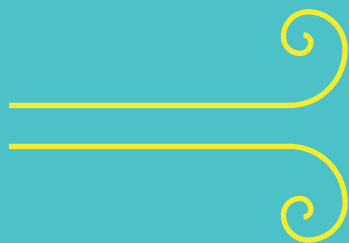
1.

radiacyjne –
związane z promieniowaniem
słonecznym



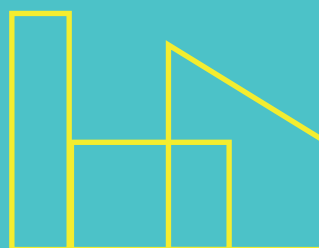
2.

wilgotnościowe –
związane z opadami atmosferycznymi



3.

cyrkulacyjne –
związane z wiatrem



4.

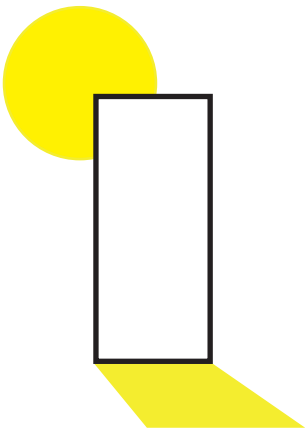
urbanizacyjne

Usłonecznienie

Więcej o zjawisku miejskiej wyspy ciepła, które jest odpowiedzialne m.in. za podwyższoną temperaturę w Warszawie, przeczytasz na stronie 28.

Nie będzie to dużym zaskoczeniem – usłonecznienie, czyli podawany w godzinach czas, podczas którego na Warszawę bezpośrednio padają promienie słoneczne, jest uwarunkowane sezonowo. Okres letni charakteryzuje się o wiele większym wskaźnikiem usłonecznienia niż okres zimowy. Spowodowane jest to typowym dla strefy umiarkowanych szerokości wczesnym wschodem i późnym zachodem Słońca, a także charakterystycznym dla lata zwiększonym kątem padania promieni słonecznych. Z kolei zimą, gdy dni są o wiele krótsze, a kąt padania promieni słonecznych jest bardzo mały, czas usłonecznienia jest wielokrotnie krótszy.

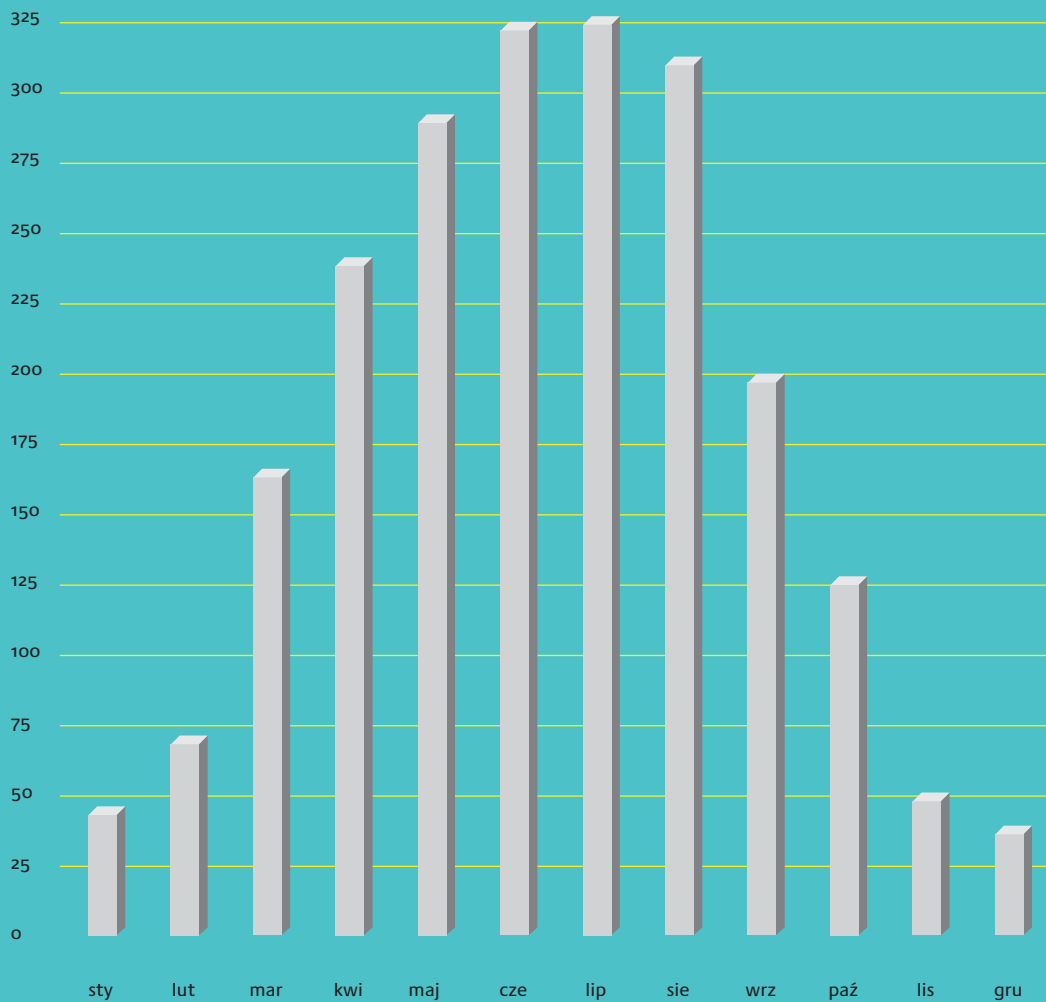
W Warszawie najwyższe wartości usłonecznienia notowane są w okresie maj–sierpień. Miesięczna liczba godzin z usłonecznieniem waha się wówczas od 290 do ponad 320. Nieco niższe wartości, od 120 do ponad 200 godzin, notuje się wiosną i jesienią. Najniższe sumy natomiast odnotowuje się w miesiącach zimowych. Od listopada do lutego liczba godzin waha się od 35 do 69 godzin.



Sumy uświetnienia w poszczególnych miesiącach roku

Suma uświetnienia
[godz.]

Wielolecie 2007–2016



Temperatura

Miasto tworzy własny klimat. Dlatego w Warszawie dni gorące i upalne zdarzają się częściej niż na mniej zurbanizowanych terenach otaczających stolicę. Warszawiacy rzadziej doświadczają też dni mroźnych i bardzo mroźnych. Najwyższą temperaturę obserwować można w sezonie letnim od czerwca do sierpnia. Na podwyższone wartości temperatury w lecie oraz bardzo niskie temperatury zimą wpływa wzmoczona aktywność ośrodków wysokiego ciśnienia. Duży wpływ na temperaturę w zimie ma również napływ mas powietrza pochodzenia arktycznego i polarnokontynentalnego.



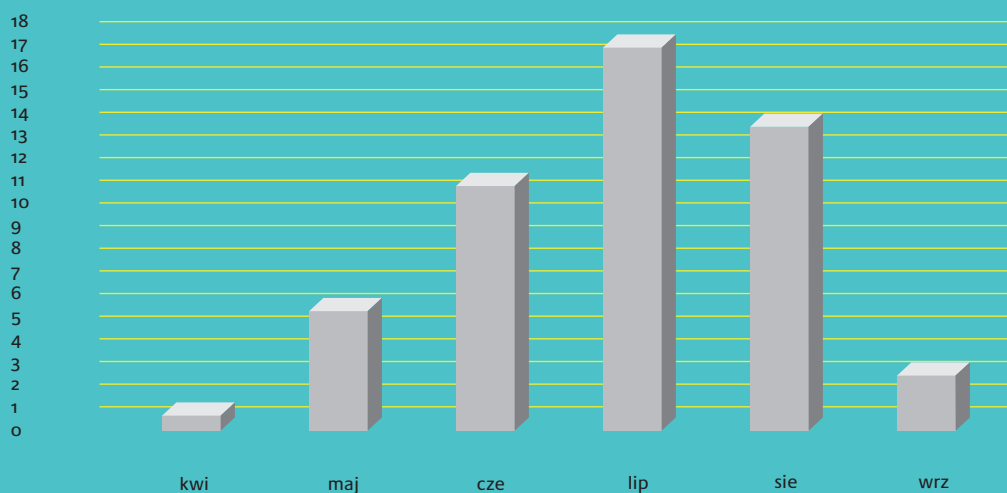
Podobnie jak w przypadku usłonecznienia, również roczny przebieg temperatury w Warszawie jest typowy dla strefy umiarkowanych szerokości półkuli północnej. W analizowanym okresie średnia roczna temperatura powietrza to $9,4^{\circ}\text{C}$. Najwyższą średnią temperaturę obserwuje się w sezonie letnim, od czerwca do sierpnia (dla najcieplejszego lipca jest to $20,1^{\circ}\text{C}$). Wartości średnie (około $15,0^{\circ}\text{C}$) odnotowuje się pod koniec wiosny i na początku jesieni. Najniższa wartość średnia przypada na styczeń i wynosi $-1,5^{\circ}\text{C}$.

Podobnie przedstawia się przebieg wartości ekstremalnych temperatury. Najwyższa temperatura maksymalna i minimalna przypada na okres letni (czerwiec–sierpień). Najgorętszym miesiącem jest lipiec, w którym maksymalna obserwowana temperatura wynosiła $37,0^{\circ}\text{C}$. Z kolei najniższa lipcowa wartość temperatury wynosiła $8,0^{\circ}\text{C}$. Wysokie temperatury maksymalne notuje się już w drugiej połowie okresu wiosennego (kwiecień–maj, około $30,0^{\circ}\text{C}$) oraz na początku okresu jesiennego (wrzesień, $34,5^{\circ}\text{C}$). Najniższe wartości temperatury występują zimą, w styczniu, a ich zakres to od $12,9^{\circ}\text{C}$ dla temperatury maksymalnej oraz $-23,4^{\circ}\text{C}$ dla temperatury minimalnej.

Analogicznie do przebiegu wartości temperatury przedstawia się okres występowania dni gorących i upalnych oraz mroźnych i bardzo mroźnych. Ekstremalne wartości temperatury maksymalnej zaobserwowano od kwietnia do września. Największa liczba dni gorących przypada na lipiec: około 17 dni. Nieco mniej, bo około 10–13 dni przypada na czerwiec i sierpień, najmniej dni gorących notuje się natomiast w kwietniu i we wrześniu (odpowiednio: od około 1 dnia do prawie 3 dni). Znacznie mniej odnotowano dni upalnych z temperaturą maksymalną powyżej $30,0^{\circ}\text{C}$. Najwięcej przypada ich

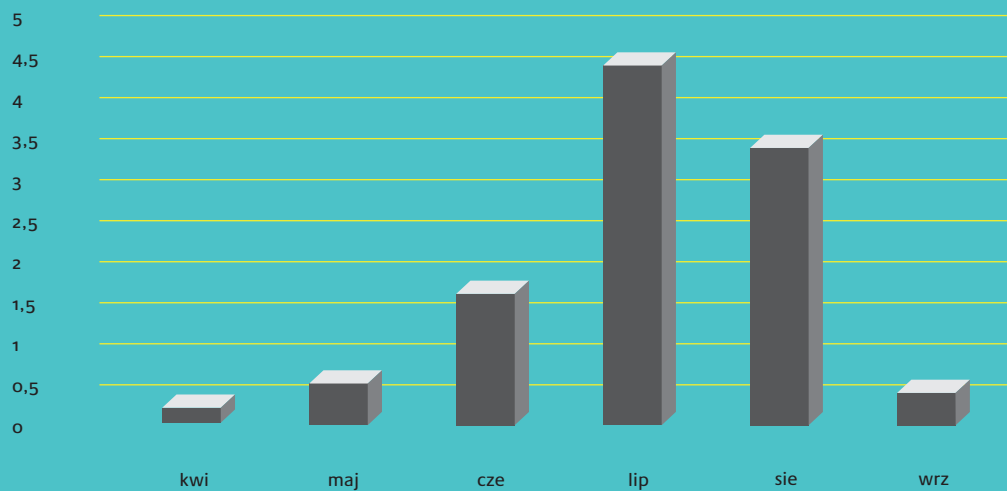
Liczba dni gorących

Wielolecie 2007–2016



Liczba dni upalnych

Wielolecie 2007–2016

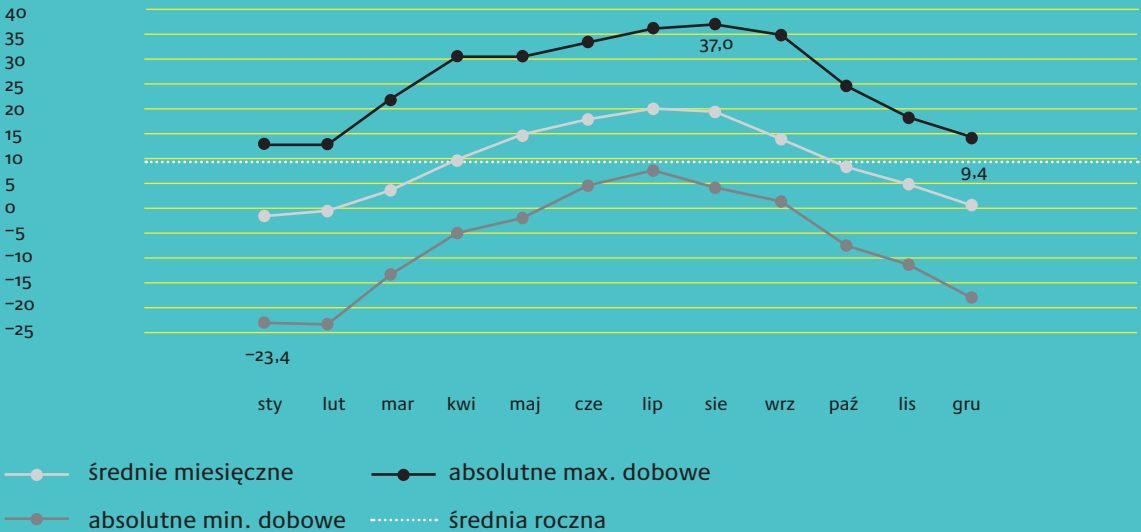


gorących $t_{max} > 25^{\circ}\text{C}$

upalnych $t_{max} > 30^{\circ}\text{C}$

Temperatura powietrza [°C]

Wielolecie 2007–2016



W badanym 10-leciu zanotowano średnio w ciągu roku około 50 dni, kiedy temperatura maksymalna była wyższa od 20,0°C (dni gorące) i jedynie około 11 dni upalnych, kiedy temperatura maksymalna była wyższa od 30,0°C

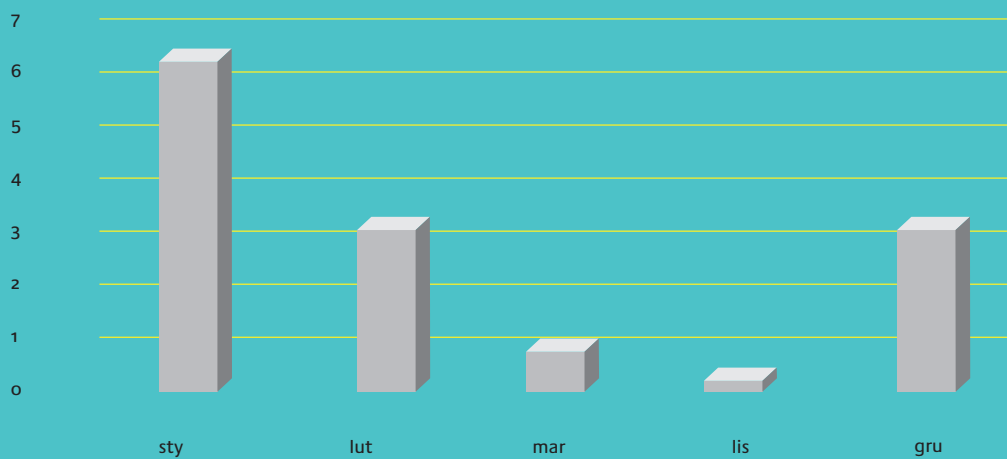
na lipiec (około 4 dni) i sierpień (około 3 dni).

Średnio dni upalnych w czerwcu odnotowano mniej niż 2, natomiast w kwietniu i we wrześniu była to tylko niecała doba. W pozostałych miesiącach nie odnotowano przypadku tak wysokich wartości temperatury maksymalnej.

Dni mroźne oraz bardzo mroźne obserwowane są jedynie w okresie od listopada do marca. W ciągu analizowanych 10 lat zauważono średnio 13 dni mroźnych i 2 dni bardzo mroźne. Najwięcej dni mroźnych (temperatura minimalna niższa niż -10,0°C) przypada na styczeń (około 6 dni), o połowę mniej notuje się w lutym i grudniu, a najmniej takich dni (niecała doba) przypada na marzec i listopad. O wiele mniej jest dni bardzo mroźnych, kiedy temperatura maksymalna jest niższa od -10,0°C. Taka sytuacja została zaobserwowana zimą (grudzień-luty), a średnia stanowiła około 1 dnia.

Liczba dni mroźnych

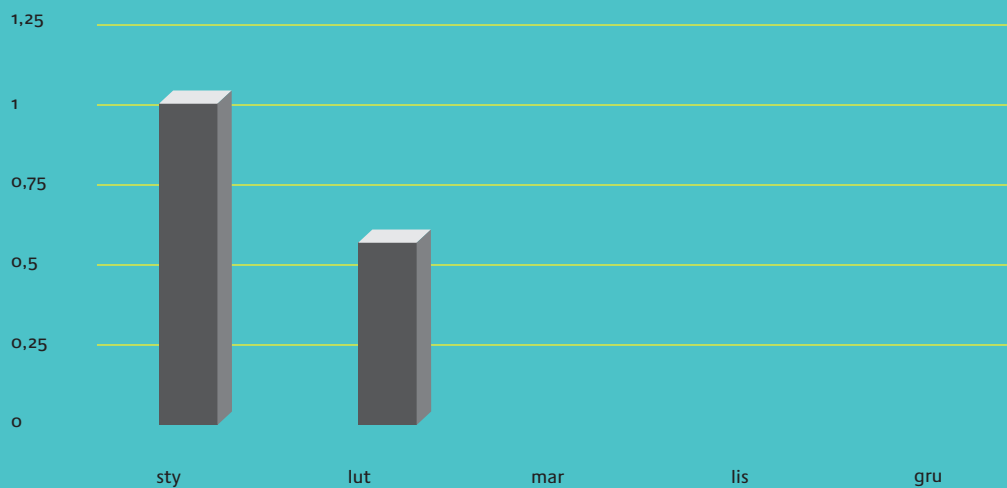
Wielolecie 2007-2016



◆ dni mroźne z temperaturą minimalną $<-10,0^{\circ}\text{C}$

Liczba dni bardzo mroźnych

Wielolecie 2007-2016



◆ dni bardzo mroźne z temperaturą maksymalną $<-10,0^{\circ}\text{C}$

Opady atmosferyczne

Opad atmosferyczny – produkt kondensacji pary wodnej spadający na powierzchnię Ziemi pod postacią deszczu, mżawki, śniegu oraz gradu.



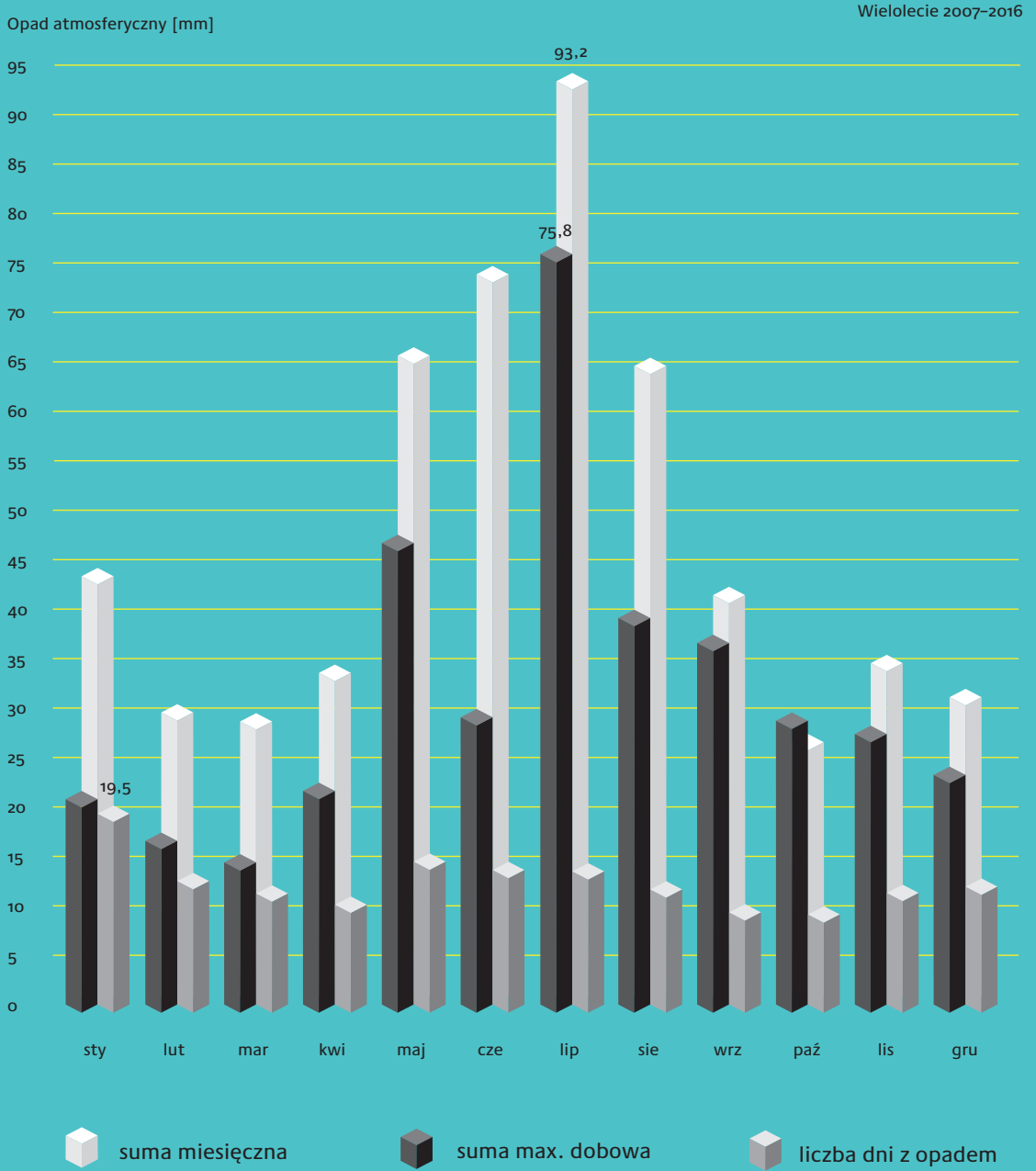
Suma miesięcznych opadów w ciągu roku rozkłada się nierównomiernie. Wykres przypomina nieco roczny rozkład temperatury. Najwyższe opady odnotowuje się w okresie letnim, od maja do sierpnia. Rekordowy jest lipiec, w którym wartości sięgają 93,2 mm. Z kolei najniższe sumy opadów przypadają na przełom lutego i marca oraz październik. Średnie wartości sum opadów w zimie osiągają około 30-40 mm.

Podobnie przedstawia się rozkład maksymalnych wartości dobowych sum opadów. Największe wartości wahają się w granicach około 40-80 mm w sezonie letnim (z maksimum w lipcu – 75,8 mm). Nieco niższe wartości sum dobowych rzędu 27-36 mm notuje się jesienią (wrzesień–listopad). W okresie zimowym maksymalne sumy opadów są niskie. Najniższe sumy przypadają na przełom lutego i marca i wynoszą 14-16 mm.

W analizowanym wieloleciu sumy opadów wynoszą 565,2 mm rocznie oraz 75,8 mm dla maksymalnej wartości sum dobowych.

Liczba dni z opadem w ciągu roku przebiega w miarę równomiernie i waha się od 11 do 14 dni latem, do około 10-12 zimą i wczesną wiosną. Najrzadziej opady występowały na początku jesieni, we wrześniu i w październiku (8-9 dni).

Opady atmosferyczne w skali roku



Mgły

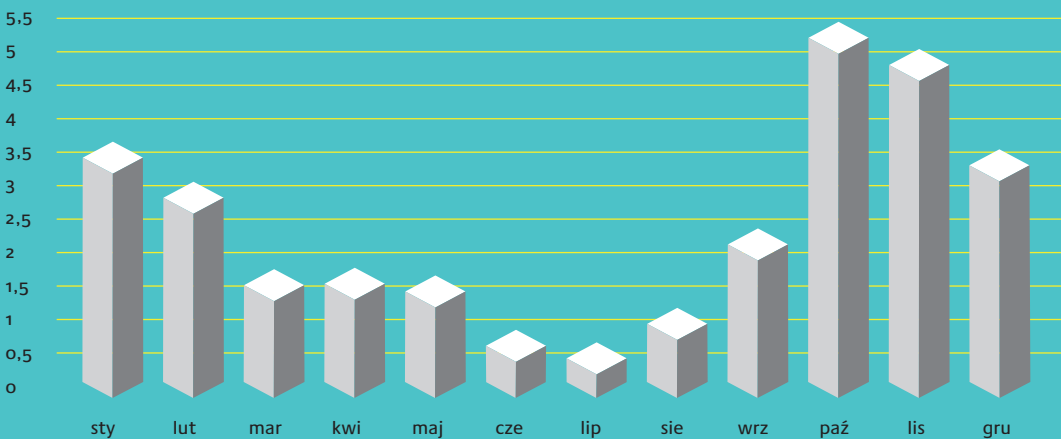


Mgły obserwować można najczęściej w sezonie jesiennym i zimowym. W badanym okresie najwięcej dni z mgłą odnotowano w październiku i listopadzie (około 5 dni), nieco mniej (od 2 do 3 dni) przypada na sezon zimowy od grudnia do lutego. W tym sezonie mgły są zasilane wilgocią, której jest o wiele więcej niż w sezonie letnim. Jest to także okres wzmożonego wychładzania terenu, przy jednoczesnym napływie cieplejszych mas powietrza z oceanu. Sprzyja to kondensacji pary wodnej przy gruncie. Najrzadziej mgła występuje wiosną i latem, czego powodem jest o wiele wolniejsze wychładzanie terenu nocą i mniejsza wilgotność powietrza. Letnie mgły występują lokalnie nocą i zanikają przed wschodem Słońca.

Rozkład miesięczny liczby dni z mgłą

Liczba dni z mgłą

Wielolecie 2007–2016



Wiatr

Wiatr – ruch mas powietrza wywołany różnicą ciśnień atmosferycznych. Masy powietrza przemieszczają się z obszarów o wyższym ciśnieniu do obszarów o ciśnieniu niższym (wiatr wieje zawsze z wyżu do niżu), podlegając sile odchyłającej (siła Coriolisa), sile tarcia i sile odśrodkowej.

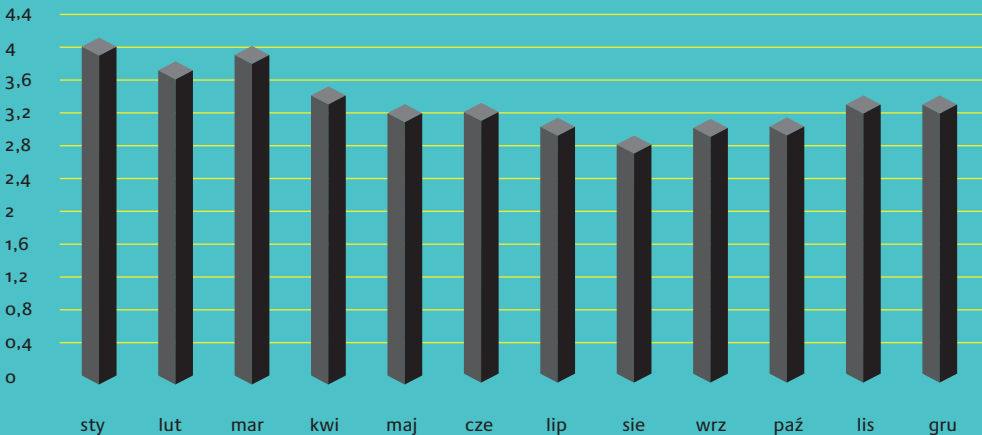
O średniej rocznej prędkości wiatru w analizowanym wieloleciu można powiedzieć, że jest mała. Największe średnie prędkości wiatru są charakterystyczne dla chłodnej części roku, co związane jest z występowaniem w tym okresie wysokich wartości ciśnienia. Średnia prędkość w sezonie chłodnym wynosi od 3,7 do 4,0 m/s. Od końca marca zauważalny jest spadek prędkości wiatru. Prędkość średnia wiatru w trakcie wiosny i na początku lata (kwiecień–lipiec) osiąga wartości kolejno od 3,4 m/s do 3,0 m/s. Wraz z nadejściem jesieni i okresu zimowego wiatr osiąga prędkość od 3,0 m/s we wrześniu do 3,3 m/s w grudniu.

Podobnie zarysowuje się przebieg średniej maksymalnej dobowej prędkości wiatru. Największe wartości notowane są od stycznia do kwietnia,

Rozkład miesięczny średniej prędkości wiatru

Prędkość wiatru średnia [m/s]

Wielolecie 2007–2016



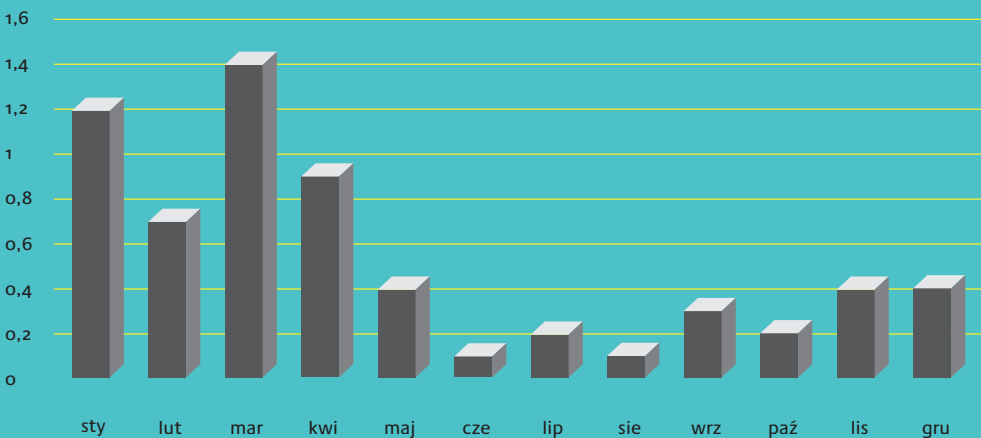
gdzie zauważalny jest sezonowy spadek prędkości. Najwyższa prędkość dobową przypada na styczeń – 11,9 m/s, wykazując spadek do około 10 m/s w kwietniu. Wraz z nadejściem lata wartości średnich prędkości spadają od 7,8 m/s w maju do 7,4 m/s we wrześniu, a najniższa średnia prędkość maksymalna została odnotowana w czerwcu 6,8 m/s. Na początku jesieni prędkość ponownie wzrasta – od 7,4 we wrześniu do 9,5 m/s w grudniu.

Taki rozkład przebiegu prędkości wiatru pozwolił na wydzielenie liczby dni oraz ich rocznego przebiegu, według kryterium prędkości: powyżej 8,0 m/s w południe oraz średnią dobową prędkość <2,0 m/s. Pozwala to na obserwację dni, w których wieje mocno oraz takich, które w zasadzie nazwać można bezwietrznymi.

Prędkości powyżej 8,0 m/s odnotowuje się najczęściej od stycznia do kwietnia (przede wszystkim w styczniu i marcu - około 1 dnia na miesiąc). Od kwietnia dni według wybranego

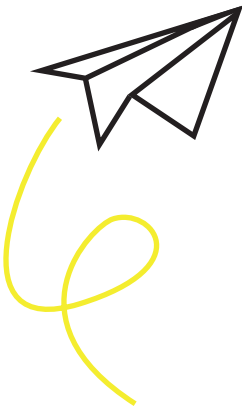
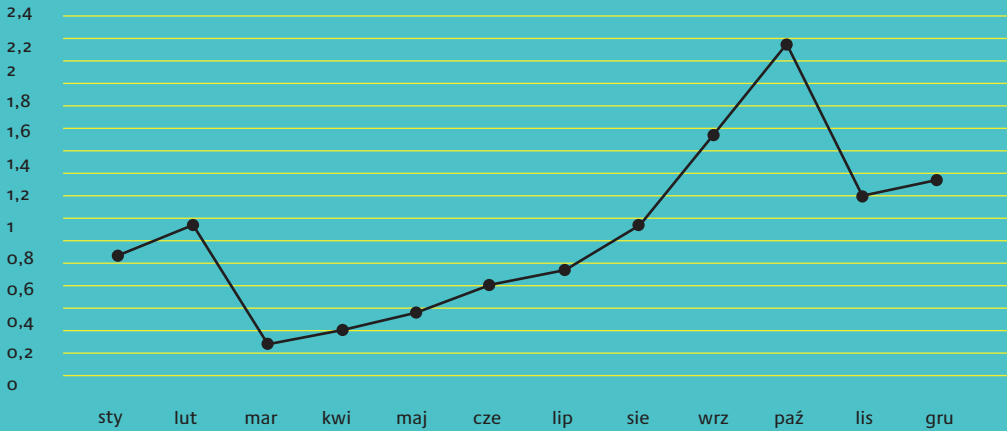
Liczba dni z prędkością wiatru >8,0 m/s

Wielolecie 2007–2016



Liczba dni z prędkością średnią dobową wiatru $< 2,0$ m/s

Wielolecie 2007–2016



kryterium zdarzają się zdecydowanie rzadziej, a w miesiącach letnich praktycznie zanikają - w czerwcu i sierpniu stwierdza się je zaledwie przez 0,1 część dnia (czyli około 2,5 godziny) w miesiącu. W okresie jesiennym i na początku zimy dni wietrznych jest nieznacznie więcej, ale nadal jest to mniej niż pół dnia na miesiąc. W wieloleciu 2007–2016 odnotowanych zostało jedynie 6,3 dni, kiedy wiało bardzo mocno i prędkość wiatru była wyższa niż 8,0 m/s.

Równie rzadko obserwowane są dni ze średnią dobową prędkością wiatru poniżej 2,0 m/s. Najmniejszy odsetek zaznacza się od marca do lipca (około pół dnia). Wraz z nadejściem jesieni i zimy odsetek ten waha się w granicy 1-1,6 dnia. Najwyższą liczbę dni (ponad 2) według tego kryterium odnotowano w październiku. W całym badanym wieloleciu liczba dni kiedy średnia dobową prędkość wiatru była niższa niż 2,0 m/s, wyniosła 11,3.

Cisze

Z ciszą atmosferyczną mamy do czynienia, gdy prędkość wiatru nie przekracza 0,5 m/s. W praktyce oznacza to całkowity brak wyczuwalnego wiatru.



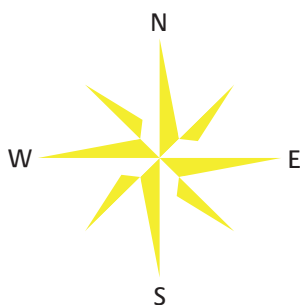
Udział cisz w ogólnym rozkładzie prędkości wiatru w analizowanym 10-leciu wynosi 8%. Największy miesięczny udział cisz przypada na październik – 10,6%, kiedy warunki praktycznie bezwietrzne można obserwować przez ponad 3 dni w miesiącu.

Wraz ze spadkiem liczby dni wietrznych wzrasta procentowy udział cisz. Stopniowy wzrost udziału cisz notowany jest od stycznia do października. Najmniejszy udział wykazuje okres od stycznia do marca, tylko 5,6-6,9%, następnie od kwietnia do sierpnia udział wzrasta do ponad 8%, a już na początku jesieni – wrzesień–październik – cisze stanowią od 9,3% do 10,6%. Zimą odsetek cisz waha się w granicach 7-8%.

Udział cisz w ogólnym rozkładzie prędkości wiatru

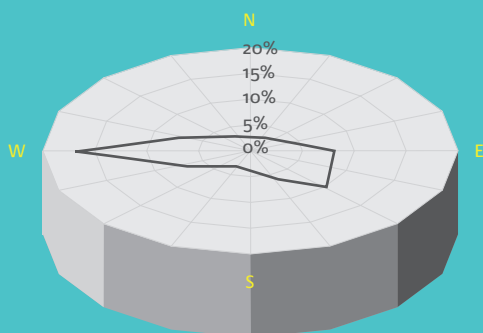


Róża wiatrów

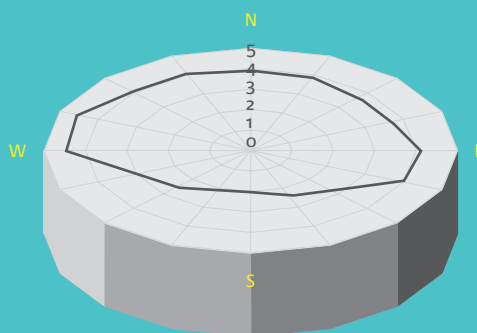


Analiza częstości występowania kierunków wiatru nad Warszawą wskazuje na znaczne uprzywilejowanie kierunku zachodniego nad pozostałymi. Wiatr z tego kierunku wieje przez 16% czasu w roku, czyli przez około 58 dni. Tymczasem wiatr z najsłabiej reprezentowanego kierunku północnego pojawia się zaledwie przez około 11 dni (3% roku). Drugim uprzywilejowanym kierunkiem wiatru jest kierunek południowo-wschodni, z którego wiatr dociera nad Warszawę z częstością około 10% czasu w roku (około 36 dni). Róża prędkości wiatru wskazuje, że najwyższe wartości obserwowane są z kierunku zachodniego (4,4-4,5 m/s). Najmniejsze prędkości wiatru obserwowane są z południa (2 m/s).

Róża kierunku i prędkości wiatru



Róża wiatru
Okęcie 2010–2017 cisze: 8,5%



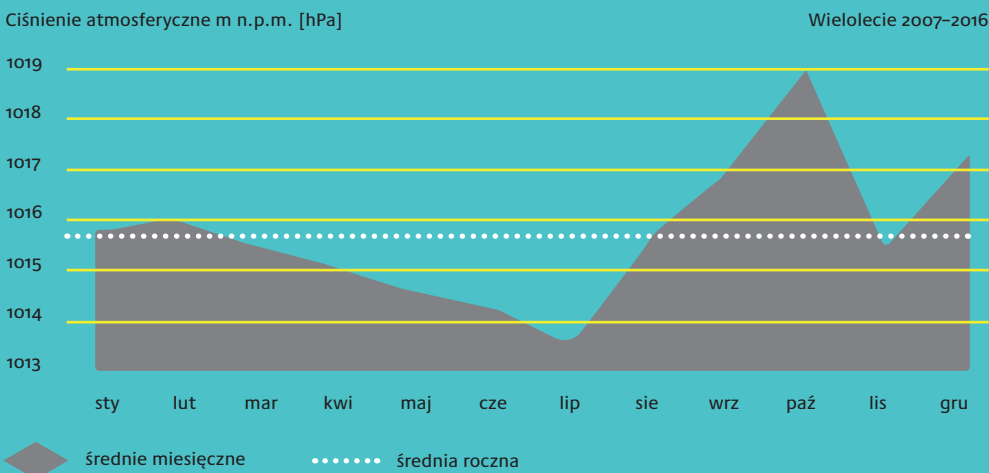
Róża prędkości wiatru w m/s
Okęcie 2010–2017 $v_{sr} = 3,2$ m/s

Ciśnienie atmosferyczne

Spadki oraz najmniejsze wartości średnie ciśnienia pojawiają się w lecie: maj, czerwiec, lipiec (około 1014 hPa). Wzrost ciśnienia następuje od sierpnia do grudnia. W tym okresie największą średnią ciśnienia odnotowano w październiku i było to 1019,0 hPa. W okresie styczeń – kwiecień ciśnienie utrzymywało się na wyrównanym poziomie, oscylując w granicy 1015 hPa.

Przy porównywaniu przebiegu zmian temperatury i ciśnienia atmosferycznego widoczna jest zależność między tymi parametrami. Zauważalne jest to szczególnie latem, kiedy notowane są podwyższone temperatury i jednocześnie spadek ciśnienia. Spowodowane jest to silnym nagrzaniem lądu, za którym idzie unoszenie się ciepłego powietrza. W okresie jesienno-zimowym, z uwagi na silne wychłodzenie lądu, a wraz z nim osiadanie ciężkiego powietrza, widoczny jest wzrost ciśnienia przy jednoczesnym spadku temperatury. W badanym okresie ciśnienie utrzymywało wysokie średnie wartości, przekraczające 1015 hPa.

Rozkład roczny średniej wartości ciśnienia atmosferycznego



Korytarze wymiany powietrza

Główne dokumenty planistyczne regulujące status korytarzy przewietrzania w Warszawie:

- 1911** – Schemat rozwoju Warszawy i okolic
- 1916** – Miasto Stołeczne Warszawa. Szkic wstępny planu regulacyjnego w związku z posiadłościami miejskimi i państwowymi. Ogrody i parki istniejące i projektowane.
- 1928** – Warszawa ze strefą wpływów
- 1931** – Ogólny Plan Zabudowy Miasta Stołecznego Warszawy
- 1941** – Ogólny plan zabudowy m. st. Warszawy
- 1945** – Koncepcja zabudowy Warszawy
- 1949** – Sześćioletni plan odbudowy Warszawy
- 1957** – Wstępny plan pięcioletni budowy Warszawy
- 1960** – Warszawa. Plan kierunkowy.
- 1982** – Perspektywiczny plan ogólny zagospodarowania przestrzennego m. st. Warszawy
- 1992** – Plan ogólny zagospodarowania przestrzennego m. st. Warszawy
- 2001** – Ustalenia wiążące dla gmin warszawskich
- 2006** – Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego m. st. Warszawy
- 2017** – Program ochrony środowiska m.st. Warszawy

Działania mające na celu systemowe „wietrzenie” miasta rozpoczęły się w Warszawie ponad sto lat temu. Katalizatorem była idea miast-ogrodów, pod wpływem której architekci, wspierani przez władze miasta, zaczęli pracować nad uregulowaniem zasad przestrzennych w nieustannie rozbudowującej się Warszawie. W kolejnych planach, opracowywanych w dwudziestoleciu międzywojennym postulowano m.in. przyjęcie funkcjonalnego podziału Warszawy ze zwartym śródmieściem oraz luźniejszą zabudową w otaczających dzielnicach. Wtedy też planiści zaczęli wskazywać, że kluczowe dla komfortu życia w mieście jest zachowanie prowadzących do centrum „klinów zieleni”, które poprzez realizowanie funkcji „sanitarnych i przyrodniczych” będą gwarantować Warszawie „dobre warunki zdrowotne”.

Zaproponowane wówczas założenia, rozwijane w konspiracyjnych pracowniach planistycznych, były punktem wyjścia do tworzenia powojennych planów. Najważniejszym kontekstem, który pod uwagę musieli wziąć planiści, były oczywiście olbrzymie zniszczenia, jakich doznała Warszawa w latach 1939–45. Choć główny nacisk w powojennych planach kładziony jest na uzupełnienie braków mieszkaniowych i rozwój przemysłu, to jednak postulaty utrzymania klinów zieleni otaczających śródmieście pozostały aktualne. Jednak już w latach 50. planiści i władze doszli do wniosku, że wobec wyczerpywania się terenów uzbrojonych i rozwoju miasta nie da się dalej utrzymać układu pasmowego zabudowy. Uznano wówczas, że zajmujące dużo miejsca kliny zastąpione zostaną szeregiem dużych parków, tworzących wyspy zieleni pośród przestrzeni zurbanizowanych.

Dopiero od lat 80. urbaniści zaczęli głośno mówić o negatywnych konsekwencjach takiego kierunku rozbudowy miasta. Zwrócono wówczas uwagę, że dotychczasowe plany nie uwzględniają zagrożeń

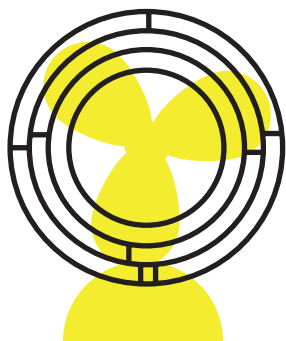
dla zdrowia ludzi wynikających z rabunkowej gospodarki zasobami środowiska, deformacji układu przestrzennego i przyrodniczego oraz likwidacji terenów otwartych. Podkreślano wówczas, że Warszawa utraciła szanse, które zarysowano w pierwszych koncepcjach odbudowy, tj. zachowania zgodności z głównymi elementami środowiska przyrodniczego.

Stąd przyjęty w 1982 roku Perspektywiczny plan ogólny zagospodarowania przestrzennego m. st. Warszawy przewidywał utrzymanie ciągłości terenów zieleni (ciągów przyrodniczych), zakazywał też uszczuplania klinów nawietrzających. W dokumencie po raz pierwszy jednoznacznie powiązano istniejące już pojęcie klinów zieleni z misją poprawy jakości powietrza. Podkreślano znaczenie układów terenów otwartych, przyrodniczo czynnych, penetrujących w głąb zabudowy miejskiej i połączonych z obszarami przyrodniczymi wokół miasta.

Kolejne plany z lat 90. XX wieku oraz początku XXI wieku sankcjonowały obszary klinów jako terenów tworzących system wymiany i regeneracji powietrza w mieście. Zakazywały również lokalizowania na ich obszarze wszelkich emitorów zanieczyszczeń powietrza oraz barier mechanicznych i termicznych, ograniczających przepływ mas powietrza. Również w tym czasie ustalony został zasięg (w Warszawie i poza jej granicami) obszarów nazywanych Systemem Przyrodniczym Warszawy (SPW), które tworzą strefę ekologiczną i stanowią trzon przyrodniczy miasta.

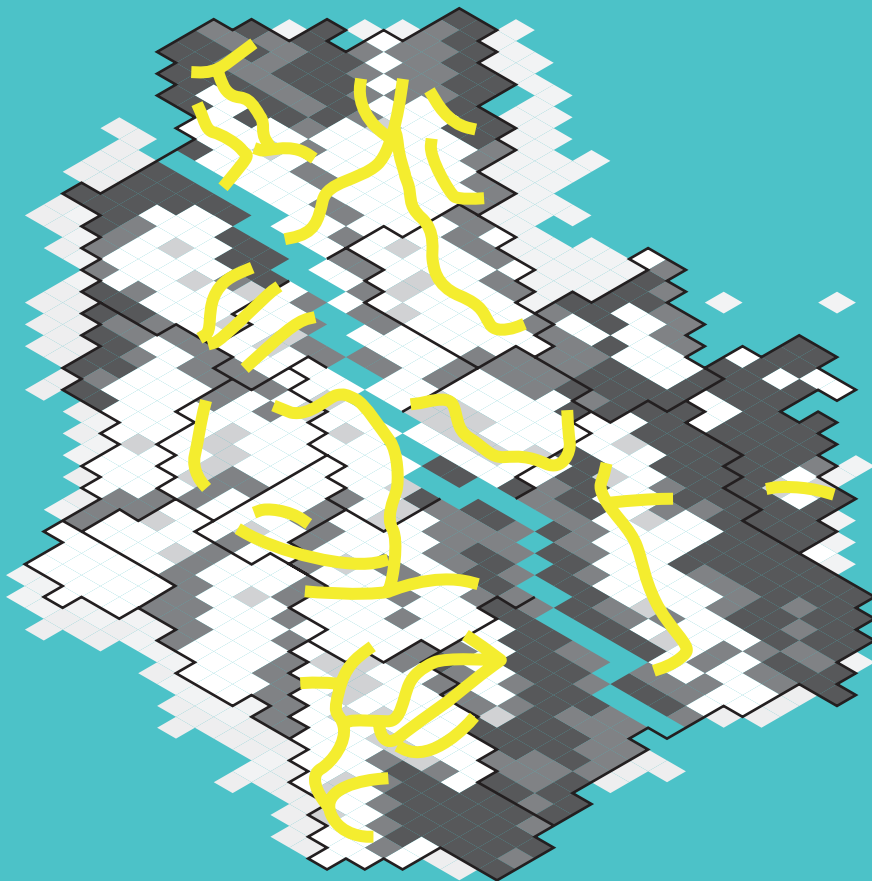
Równoległe do działań ochronnych następowała indywidualna ingerencja w zabudowę poszczególnych stref. Mimo to należy podkreślić, że gdy w 2006 roku dokonano oceny funkcjonowania stref pod względem przewietrzania i regeneracji jakości powietrza, to wszystkie one otrzymały oceny co najmniej dobre, a wiele z nich najlepsze. Stąd postulaty ich dalszej ochrony uwzględnione zostały w przyjętym w 2006 roku Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego m. st. Warszawy. Żeby sprawdzić skuteczność funkcjonowania korytary wymiany powietrza w Warszawie Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego zleciło wykonanie takiej oceny w ramach większego opracowania pod tytułem "Potencjał do kształtowania warunków

Przez długie lata panowała opinia, że jakość powietrza w Warszawie nie jest zła. Dopiero od lat 80. zaczęła rosnąć świadomość zanieczyszczenia miejskiego powietrza. Po raz pierwszy zauważano, że podejmowane działania nie przynoszą znaczącej poprawy, a mieszkańcy coraz mocniej zaczęli zwracać uwagę na negatywne oddziaływania zanieczyszczenia powietrza na zdrowie.



klimatycznych - w tym wymiany i regeneracji powietrza w Warszawie". Ze względu na brak danych o konsekwencjach wynikających z sytuowania zabudowy w korytarzach przeprowadzone zostały analizy przestrzenne, jako jedno z działań wyznaczonych w Programie Ochrony Środowiska dla m.st. Warszawy w 2017 r. O ich wynikach piszemy w następnych rozdziałach.

System korytarzy wymiany powietrza z 2014 roku
oraz układ powiązań przyrodniczych pomiędzy obszarami SPW

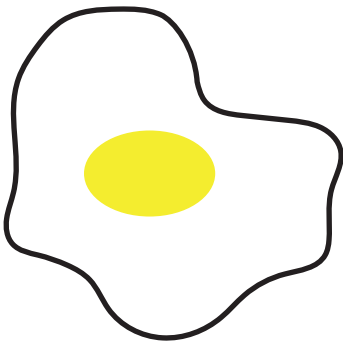


◆ Obszary podstawowe
◆ Obszary wspomagające

■ Główne powiązania przyrodnicze
◆ Tereny zieleni

Warszawska Wyspa Ciepła

Miejska wyspa ciepła (MWC) to zjawisko obserwowane i badane już od wielu lat. Początkowo analizom poddawano różnicę temperatur między stacjami pomiarowymi na terenie miasta i tymi, które znajdują się poza jego wpływem. Im więcej punktów pomiarowych, tym dokładniej określić można było zasięg występowania wyspy. Od II połowy XX wieku do badań wykorzystuje się również zdjęcia lotnicze i satelitarne, a także modelowanie.

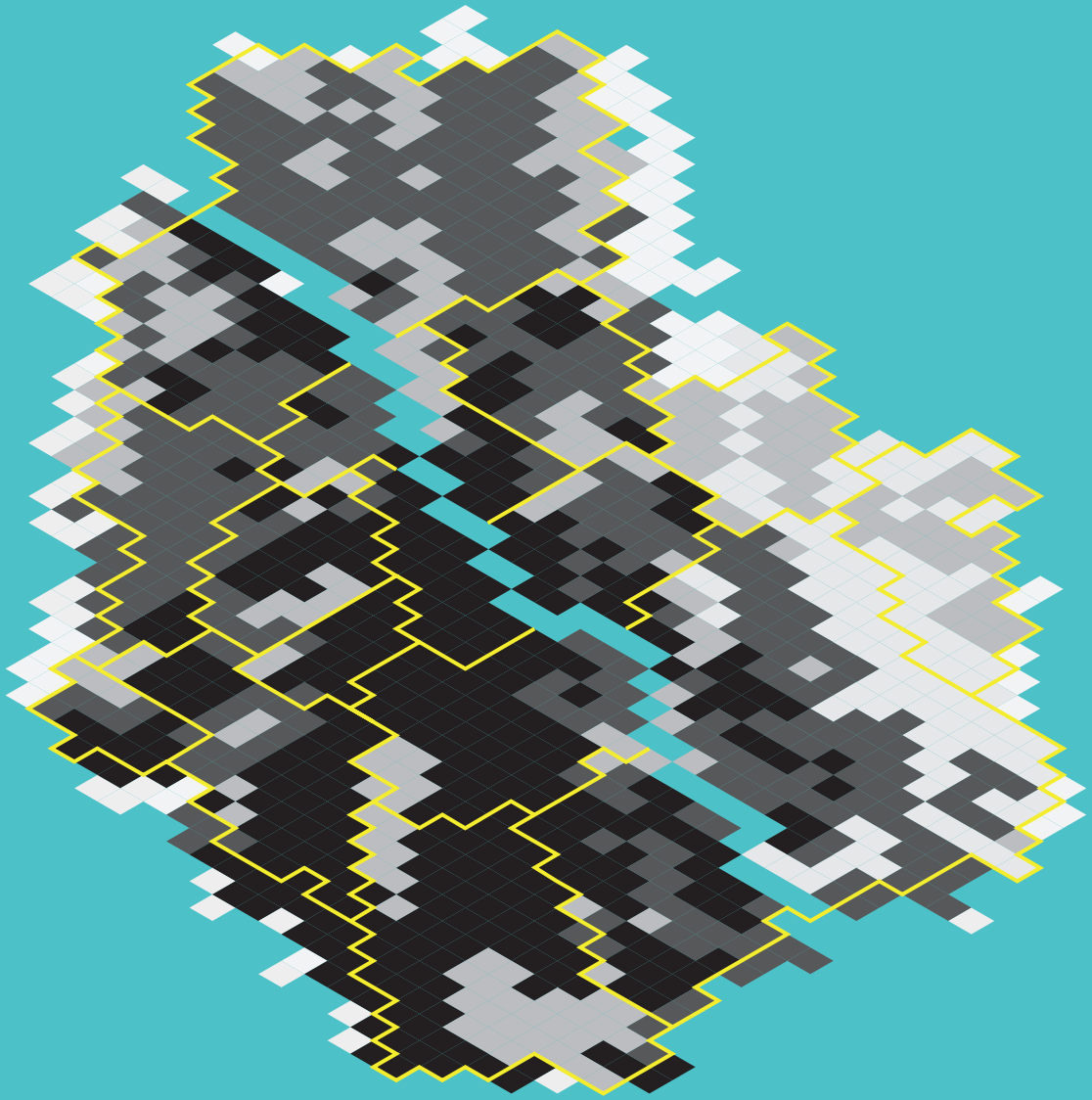


Występowanie miejskich wysp ciepła to jedno z najbardziej charakterystycznych zjawisk w klimacie miasta. Mamy z nim do czynienia, gdy temperatura mierzona w terenie zurbanizowanym jest wyższa niż na peryferiach miasta i poza nim. Zjawisko MWC obserwować można we wszystkich ośrodkach miejskich, ale o jego skali i częstotliwości występowania decyduje rozmiar miasta oraz sposób zagospodarowania i pokrycia terenu.

Widziana z perspektywy dłuższych pomiarów Warszawska Wyspa Ciepła ma nieregularny i zmienny w czasie kształt. Swoim zasięgiem obejmuje centralne dzielnice o zwartej zabudowie. Charakteryzuje ją niewielkie zróżnicowanie termiczne (czyli wewnątrz niej nie występują znaczące różnice temperatur). Różnica temperatur między wyspą a otoczeniem sięga około 1,2 stopnia.

Poza zasięgiem MWC znajdują się obszary w południowo-wschodniej części miasta, gdzie niezbyt gęstej zabudowie towarzyszą kompleksy leśne. Oprócz tego warto zwrócić uwagę, że część terenów o niższej temperaturze pokrywa się z korytarzami wymiany i regeneracji powietrza – przede wszystkim z korytarzem Wisły, ale także z bemowskimi i mokotowskimi terenami zieleni.

Model rozkładu temperatury powietrza dla roku w Warszawie



- | | |
|---|---|
|  temperatura najniższa |  temperatura wyższa |
|  temperatura niższa |  temperatura najwyższa |

Wyspa ciepła latem i zimą

Warszawska Wyspa Ciepła:

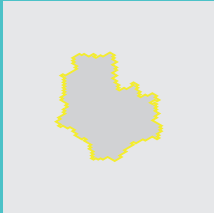
- Jest bardziej zależna od pory doby (największe natężenie nocą) niż od pory roku (choć obserwuje się jej większe natężenie latem niż zimą).
- Powstaje na terenach silnie zurbanizowanych (ale są wyjątki – np. zwarta, blokowa zabudowa Ursynowa, która szybko się nagrzewa, ale również szybko oddaje ciepło, co może się wiązać z materiałami wykorzystanymi do budowy, z dobrą wentylacją oraz dużym udziałem zieleni w zagospodarowaniu osiedli).
- W pełni wykształcona Wyspa Ciepła występuje w Warszawie kilkanaście razy w roku, przede wszystkim w lecie.
- Jest wielokomórkowa, czyli tak naprawdę składa się z wielu małych wysp cieplnych, które łączą się w „archipelag ciepła”.
- Z obszaru wyspy ciepła wyraźnie wyłączają się obszary w dolinie Wisły oraz na terenie klinów napowietrzających.

Warunkiem powstania MWC jest słoneczna pogoda w dzień, duże nagrzanie podłoża, budynków oraz słaby wiatr. Najbardziej odczuwalną różnicę temperatur w miejskiej wyspie ciepła doświadczać można podczas ciepłych miesięcy, a zwłaszcza podczas upalnych dni. W ich trakcie, około południa temperatura na terenie całego miasta jest jednakowa. Wyspa ciepła zaczyna rosnąć od wczesnych godzin popołudniowych, wzmacnia się pod wieczór i osiąga swój szczyt około 22. Różnice temperatur między obszarami silnie zabudowanymi a peryferiami sięgają wtedy około 4°C. Wyspa utrzymuje się przez noc z podobnym natężeniem i znika nad ranem, gdy temperatura powietrza na obszarze miasta wyrównuje się. Zasięg występowania wyspy w upalne dni nie odbiega znacząco terytorialnie od rocznej średniej. Co charakterystyczne, obserwować można nieco niższe wartości temperatury powietrza na obszarach zieleni (głównie w miejskich lasach) oraz we fragmentach doliny Wisły (część południowa) i niektórych klinach przewietrzania miasta.

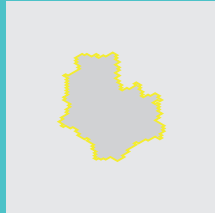
Choć zjawisko wyspy ciepła obserwować można przez cały rok, jednak w zimnych miesiącach jej występowanie jest zdecydowanie ograniczone. Wyspa obejmuje podobne tereny, ale różnice temperatur są zdecydowanie mniejsze i sięgają 0,8°C. Najcieplejsze jest ścisłe centrum miasta i obszary położone na południe od niego, wzdłuż Alei Niepodległości. Zwraca uwagę większa niż w przypadku roku jednorodność rozkładu temperatury. Umiarkowana MWC obejmuje prawie całą zwartą zabudowę dzielnic miasta położonych na lewym brzegu Wisły. Podobnie jednak jak dla całego roku obserwuje się najniższe różnice temperatury (poza terenami południowo-wschodnich dzielnic i obszarów zieleni wysokiej) w dolinie Wisły ze szczególnym uwzględnieniem jej koryta od strony południowej miasta. Widoczne są także, choć mniej wyraźnie, chłodniejsze liniowe obszary pozostałych klinów przewietrzania.

Zmienność godzinowa temperatury powietrza w ciągu dnia 8 sierpnia 2015 roku
na terenie województwa mazowieckiego

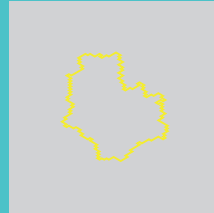
Godzina:



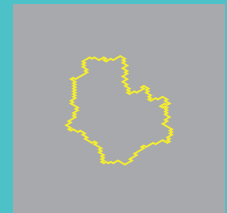
01:00



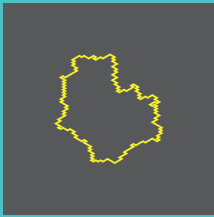
03:00



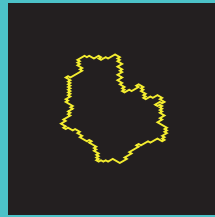
06:00



08:00



13:00



15:00



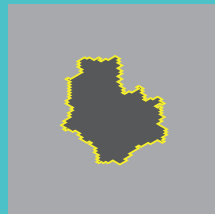
17:00



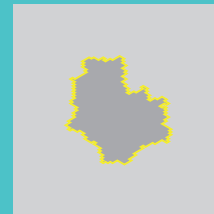
19:00



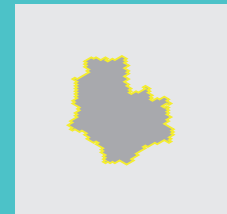
20:00



21:00

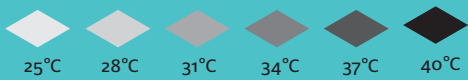


22:00



24:00

Temperatura powietrza



O czym mówi bonitacja przewietrzania?

Przy tworzeniu mapy bonitacji wykorzystano autorską metodykę modelowania meteorologicznego w obszarach zurbanizowanych. Łączy ona klasyczne, kaskadowe modelowanie matematyczne z wynikami światowych eksperymentów miejskich oraz badań prowadzonych w tunelach wiatrowych. Wykorzystano przy tym doświadczenia w zakresie parametryzacji morfometrycznej miasta (przedstawienia za pomocą cyfrową cech zabudowy miasta). Dzięki zastosowaniu takiej metodyki przygotowany został szczegółowy opis warunków przewietrzania na terenie miasta.

BONITACJA PRZEWIETRZANIA to wskaźnik określający skuteczność wymiany powietrza w mieście. Dzięki niemu można wskazać, w których częściach Warszawy dochodzi do szczególnie intensywnej wymiany powietrza między miastem a jego otoczeniem. Klasa bonitacji zależy od warunków meteorologicznych (siła wiatru) oraz od czynników przestrzennych (zabudowa, ukształtowanie terenu, roślinność).

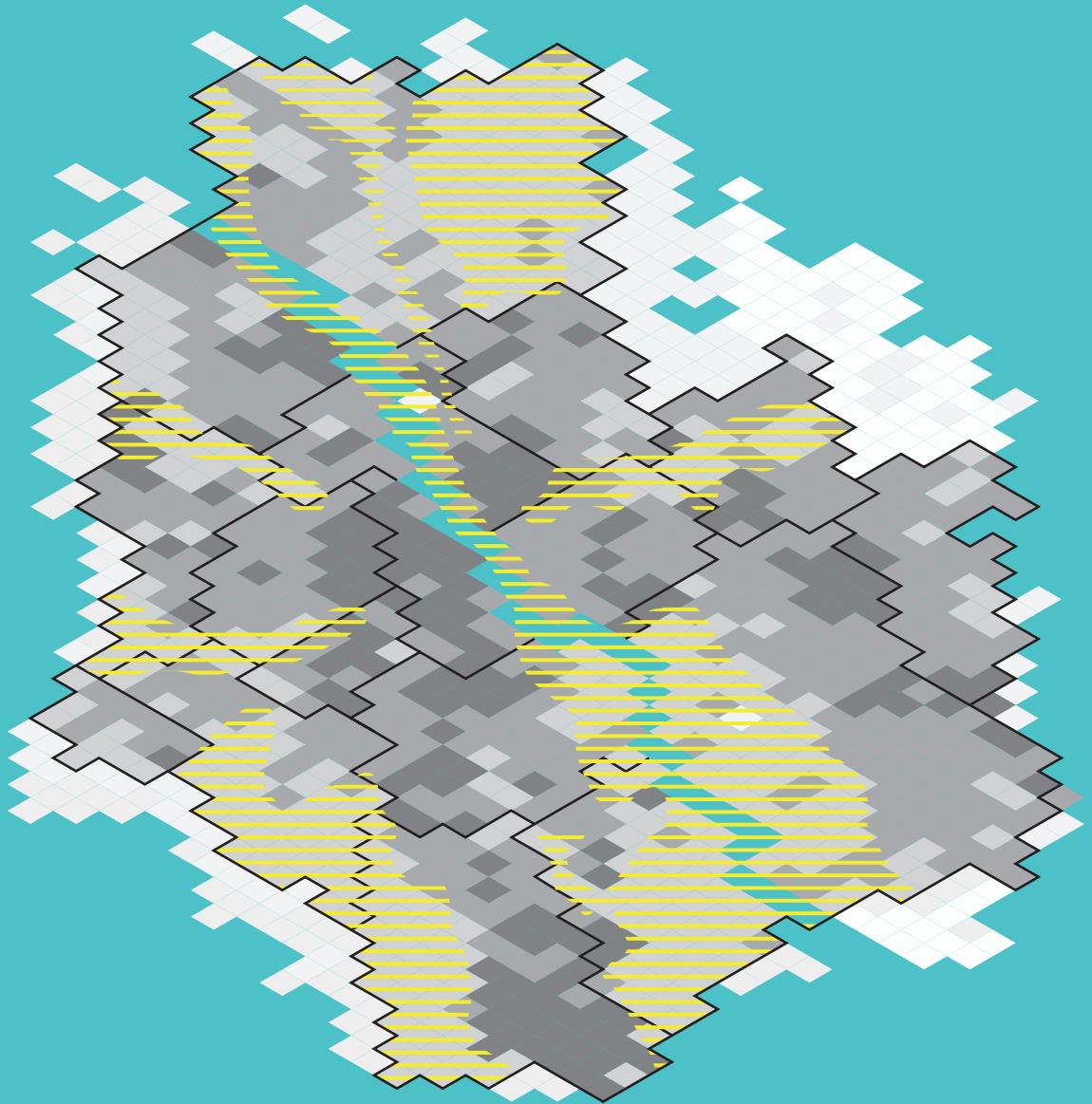
Ważnym celem tworzenia mapy bonitacji było sprawdzenie, na ile powierzona im misję realizują tradycyjne warszawskie korytarze wymiany powietrza. Szukano też odpowiedzi na pytanie, czy obszarów ze szczególnie dobrymi warunkami rozpraszania zanieczyszczeń i rozcieńczania stężeń substancji szkodliwych nie ma w Warszawie więcej.

Zgodnie z przewidywaniami okazało się, że:

- obszarami najsłabiej przewietrzanymi są te, w których dominuje zwarta zabudowa miejska i zabudowa o charakterze blokowym;
- obszary o umiarkowanym stopniu przewietrzania stanowią tereny zabudowy bardziej rozproszonej a także zwarte tereny leśne i parkowe;
- pozostałe obszary Warszawy należy uznać za dobrze przewietrzane.

Warto zwrócić uwagę, że obszary dobrze i umiarkowanie przewietrzane są znacznie większe od wyznaczonych przez planistów korytarzy wymiany powietrza, a te prawie w całości się w nich zawierają. Jeżeli natomiast uznać, że wspomnianymi klinami przewietrzania są jedynie obszary dobrze wentylowane, to w świetle badań są one zachowane jedynie fragmentarycznie. Najbardziej widoczny jest kanał doliny Wisły, który dzięki brakowi znaczących inwestycji budowlanych zachował znakomite warunki do swobodnego przepływu mas powietrza. Dobrze funkcjonują także korytarze kolejowe: zachodni, wschodni i częściowo północny. Pozostałe kliny przewietrzania pełnią dość dobrze swoją funkcję w częściach peryferyjnych miasta. W miarę zbliżania się do centrum ich znaczenie zanika.

Bonitacja przewietrzania Warszawy wraz z proponowanymi obszarami przewietrzania



klasy bonitacji przewietrzania:



dobra



zła



umiarkowana



proponowane obszary przewietrzania

Roczny Indeks Jakości Powietrza

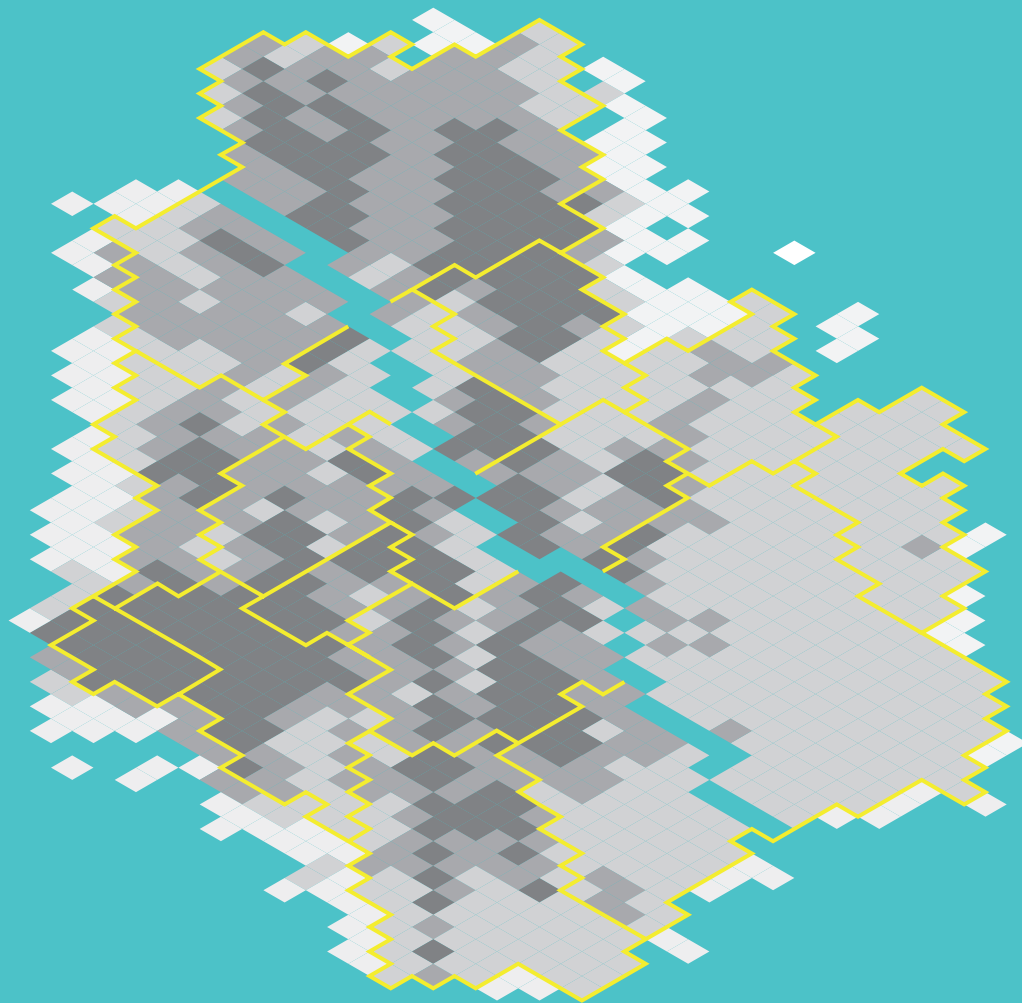
Indeks jakości powietrza – to rodzaj wskaźnika opisującego poziom zanieczyszczenia powietrza różnymi substancjami. Wyliczając indeks, zwraca się również uwagę na wpływ poziomu poszczególnych zanieczyszczeń na zdrowie człowieka. Zwykle indeks wyznaczany jest dla okresu godziny w oparciu o pomiary stężeń zanieczyszczeń w powietrzu lub w oparciu o modelowanie dyspersji zanieczyszczeń w powietrzu. Różne metody wyznaczania indeksu uwzględniają różne substancje. Najczęściej bierze się pod uwagę: dwutlenek azotu (NO₂), dwutlenek siarki (SO₂), pył zawieszony PM₁₀. Ogólnie idea wyznaczania indeksu polega na wyznaczeniu indeksu dla każdej z substancji na podstawie przedziału stężeń, a następnie wybierana jest najwyższa wartość indeksu w danej godzinie. Roczny Indeks Jakości Powietrza jest więc o tyle nietypowy, że pozwala wskazać przestrzenne zróżnicowanie jakości powietrza na terenie miasta w odniesieniu do dłuższego przedziału czasu.

Od kilku lat dużo mówi się o smogu. Mieszkańcy Warszawy coraz częściej zwracają uwagę na jakość powietrza. Zimą, kiedy poziom zanieczyszczeń powietrza częściej przekracza dopuszczalne normy, temat nie znika z prasy, telewizji i internetu. Uczestnicy debaty publicznej powołują się na różnorodne dane dotyczące jakości powietrza. Zdecydowanie zbyt często zdarza się jednak, że zestawiając ze sobą niewłaściwie dobrane wskaźniki, zamiast objaśniać sytuację, przyczyniają się do pogłębienia chaosu informacyjnego. Ten sam problem dotyczy urzędników czy planistów – do tej pory brakowało jednego, wiarygodnego zestawu wskaźników, który pozwalałby na określenie jaka jest jakość powietrza w poszczególnych częściach miasta.

Odpowiedzią na ten problem jest Roczny Indeks Jakości Powietrza dla Warszawy (RIJP).

- Dzięki wykorzystaniu modelowania matematycznego (zweryfikowanego w oparciu o stacje pomiarowe WIOŚ) możliwe jest określenie jakości powietrza we wszystkich częściach miasta.
- Obowiązujące normy określają jakość powietrza, odnosząc się do liczby dni w roku, w których zdarzają się przekroczenia. Dzięki przyjęciu rocznej perspektywy, Indeks pozwala odnosić sytuację w poszczególnych punktach do obowiązujących norm.
- RIJP uwzględnia trzy zanieczyszczenia, których poziomy dopuszczalne są w Warszawie przekraczane: pył zawieszony PM₁₀ i PM_{2,5} oraz dwutlenek azotu (NO₂).
- RIJP wyróżnia trzy kategorie jakości powietrza: dobrą, umiarkowaną i złą.

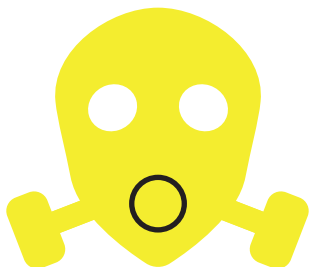
Przestrzenne zróżnicowanie terenów w Warszawie ze względu na Roczny Indeks Jakości Powietrza dla roku 2015 oraz parametry zastosowane do jego wyznaczenia



Roczny Indeks Jakości Powietrza	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂
dobry	liczba dni z przekroczeniem dopuszczalnego stężenia dobowego jest w normie (≤35 dni w roku) oraz stężenia dobowe przez 200 dni w roku mieszczą się w przedziale 0–30 [µg/m ³]	stężenie średnioroczne ≤20 [µg/m ³] (poziom dopuszczalny od 2020 r.)	stężenie średnioroczne ≤40 [µg/m ³]
umiarkowany	liczba dni z przekroczeniem dopuszczalnego stężenia dobowego jest w przedziale 36–50 dni w roku oraz stężenia dobowe przez 200 dni w roku mieszczą się w przedziale 0–30 [µg/m ³]	stężenie średnioroczne mieści się w przedziale 20–25 [µg/m ³]	-
zły	liczba dni z przekroczeniem dopuszczalnego stężenia dobowego jest większa niż 50 dni w roku, stężenie średnioroczne przekracza wartość dopuszczalną >40 [µg/m ³]	stężenie średnioroczne >25 [µg/m ³] (poziom dopuszczalny)	stężenie średnioroczne >40 [µg/m ³]

Smog

Nie ma ściśle określonych wielkości stężeń, po przekroczeniu których można mówić o smogu. Dlatego można przyjąć, że określenie to ma charakter potoczny, obiegowy. W Polsce określone są dopuszczalne i docelowe wielkości stężeń dla różnych zanieczyszczeń powietrza. Odnotowanie wyższych wartości stężeń oznacza przekroczenie „standardu jakości powietrza”. Ponadto prawo określa poziomy informowania społeczeństwa oraz poziomy alarmowe dla wybranych zanieczyszczeń. Niemniej jednak mówi się o SMOGU w Polsce. Czy słusznie?



Mówiąc najkrócej, smog to połączenie zanieczyszczenia powietrza ze specyficznymi warunkami meteorologicznymi (tj. mgła, brak wiatru, inwersja termiczna). Rozróżnia się dwa rodzaje smogu:

- klasyczny, kwaśny (londyński), w którym powietrze zanieczyszczone jest pyłem oraz związkami siarki (głównie SO_2);
- fotochemiczny, letni typu Los Angeles, w którym powietrze zanieczyszczone jest głównie tlenkami azotu (NO) oraz tlenkiem węgla (CO) i węglowodorami.

Fakt – w Polsce notowane są przekroczenia poziomów dopuszczalnych dla pyłu PM_{10} (czasami nawet alarmowych), pyłu $\text{PM}_{2,5}$ i benzo(a)pirenu (należącego do węglowodorów aromatycznych), ale nie ma przekroczeń dla dwutlenku siarki (SO_2). Dlatego nie jest to klasyczny (kwaśny) smog londyński. Taki stan ma charakter „smogu zimowego”, który związany jest ze znacznymi przekroczeniami pyłu PM_{10} .

Fakt – w kilku aglomeracjach notowane są przekroczenia dla dwutlenku azotu (NO_2), ale są to przekroczenia dopuszczalnego stężenia średniorocznego i występują tylko na stacjach komunikacyjnych, czyli takich, gdzie pomiary prowadzone są w bezpośrednim sąsiedztwie ulicy. Jednocześnie pomiary nie wskazują występowania przekroczenia standardu godzinowego dla NO_2 . Trudno zatem mówić o występowaniu typowego zjawiska smogu fotochemicznego.

Występujący w Polsce problem złej jakości powietrza ma inny charakter. Największy problem to zbyt wysokie stężenia pyłu zawieszonego oraz benzo(a)pirenu.

Dlaczego zatem mówi się o SMOGU? Pewnie dlatego, że to krótkie określenie – znacznie wygodniejsze niż „przekroczenie standardów jakości powietrza”.

Może warto używać pojęcia „smog zimowy”, które wskazywałoby na wystąpienie znacznego przekroczenia krótkoterminowego poziomu dopuszczalnego pyłu PM_{10} .

Kto jest odpowiedzialny za zanieczyszczenie powietrza?

Debaty o jakości powietrza w Warszawie zbyt często sprowadzają się do przerzucania się odpowiedzialnością. Jedni skupiają się na oskarżaniu nadmiernego ruchu samochodowego, inni całą odpowiedzialnością chcieliby obarczyć „kopciuchy”, czyli stare piece, w których spalane są złej jakości paliwa. Winnych jest jednak więcej, a główna odpowiedzialność zależy od wielu różnych czynników – lokalizacji, warunków atmosferycznych, ukształtowania terenu czy też... sąsiadów zza granicy miasta czy dzielnicy.

Odpowiedzialny #1: powierzchniowe źródła emisji

Czyli indywidualne systemy grzewcze, wprowadzające pyły i gazy do powietrza na małych wysokościach i z niską prędkością wylotową. Występują one przede wszystkim w dzielnicach, gdzie brak dostępu do sieci ciepłowniczej zmusza do korzystania z małych kotłowni oraz palenisk domowych. Wiele z tych źródeł ciepła to kotły pozaklasowe, czyli niespełniające żadnych standardów emisyjnych. Sytuację dodatkowo pogarsza fakt, że niektórzy mieszkańcy palą najniższej jakości węglem, drewnem czy nawet śmieciami.

Odpowiedzialny #2: liniowe źródła emisji

Czyli drogi, a w zasadzie jeżdżące nimi samochody. Wielkość emisji zanieczyszczeń zależy przede wszystkim od natężenia ruchu. Ale znaczenie ma też:

- rodzaj pojazdów, ich obciążenie i stan techniczny,
- prędkość pojazdów,
- rodzaj stosowanego paliwa oraz normy emisji spalin, spełniane przez pojazdy.

Olbrymie znaczenie dla emisji pyłu zawieszonego ma również emisja pozaspalinowa, czyli nie związana z pracą silników. Wiąże się ona ze:

- zużyciem opon i okładzin samochodowych (np. klocków hamulcowych),
- resuspensją, czyli wtórnym unosem pyłów, który bezpośrednio wynika z rodzaju i stanu nawierzchni, utwardzenia, stanu pobocza

oraz częstotliwości mycia nawierzchni. W przypadku pyłów PM10 i PM2,5 unos wtórny odpowiada za 75% całkowitej emisji ze źródeł liniowych.

Warto też pamiętać, że na warunki przewietrzania (a co za tym idzie, na jakość powietrza) znaczący negatywny wpływ mają elementy infrastruktury drogowej: ekrany akustyczne, nasypy, zabudowa otaczająca drogi czy nawet typ zieleni, rosnącej w pobliżu dróg.

Odpowiedzialny #3: punktowe źródła emisji

Punktowe źródła emisji to obiekty przemysłowe, duże instalacje spalania paliw oraz obiekty technologiczne, których funkcjonowanie powoduje zanieczyszczanie powietrza. Wielkość emisji wynikającej z tego typu źródeł uzależniona jest m.in. od stosowanego procesu technologicznego, ilości, charakterystyki i stanu technicznego stosowanych urządzeń (w tym redukujących emisję), ilości, jakości i rodzaju zużywanych paliw.

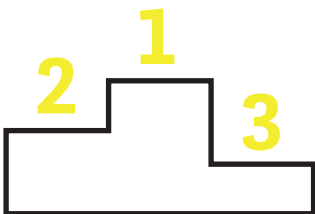
Odpowiedzialny #4: źródła emisji z rolnictwa

Tereny upraw czy stosowania maszyn rolniczych odpowiadają przede wszystkim za emisję do powietrza pyłu zawieszonego PM10 oraz PM2,5, a także amoniaku, który jest prekursorem pyłu zawieszonego. Wytwarzane są one w konsekwencji działań gospodarskich na terenie gruntów ornych, sadów i plantacji, a także na łąkach i pastwiskach. Pamiętać należy tutaj zarówno o kurzu wzbudzonym przez maszyny rolnicze, jak i o spalinach przez nie wytwarzanych. Do emisji z rolnictwa zalicza się również emisję pochodzącą z hodowli zwierząt.

Odpowiedzialny #5: niezorganizowane źródła emisji

Do źródeł niezorganizowanej emisji pyłu zaliczają się następujące obiekty:

- kopalnie odkrywkowe oraz kopalnie kruszyw,
- żwirownie i piaskownie,
- duże otwarte składowiska materiałów sypkich,
- inne tereny, na których wskutek działalności człowieka usunięta została pokrywa roślinna.



W Warszawie występowanie tego rodzaju obiektów jest niewielkie i nie ma znaczącego wpływu na ogólną wielkość emisji.

**Odpowiedzialny #6:
napływ**

Czyli każde z powyższych źródeł zanieczyszczeń – pod warunkiem, że jest ono umiejscowione poza administracyjnymi granicami Warszawy. Najczęściej pochodzi on z miejscowości otaczających Warszawę, ale zdarza się z dalszych rejonów Polski, a nawet z zagranicy.

Typy źródeł odpowiedzialnych za zanieczyszczenia



1.
powierzchniowe
źródła emisji



2.
liniowe źródła emisji



3.
punktowe
źródła emisji



4.
źródła emisji
z rolnictwa



5.
niezorganizowane
źródła emisji



6.
napływ

Udziały – czyli odpowiedzialność podzielona

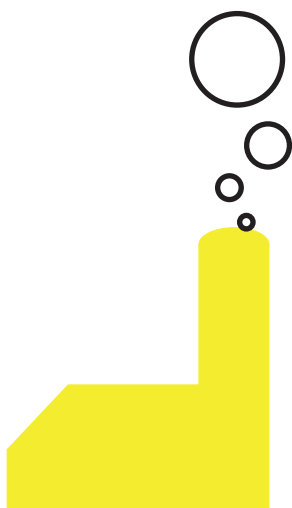
W perspektywie rocznej na terenie Warszawy największy wpływ na wielkości stężeń pyłu zawieszonego **PM₁₀** i **PM_{2,5}** w obszarach przekroczeń ma napływ (ponad 42%).

Istotne znaczenie mają źródła liniowe. Ich udział w Warszawie wynosi dla pyłu zawieszonego **PM₁₀** blisko 40%, natomiast dla **PM_{2,5}** ponad 37%.

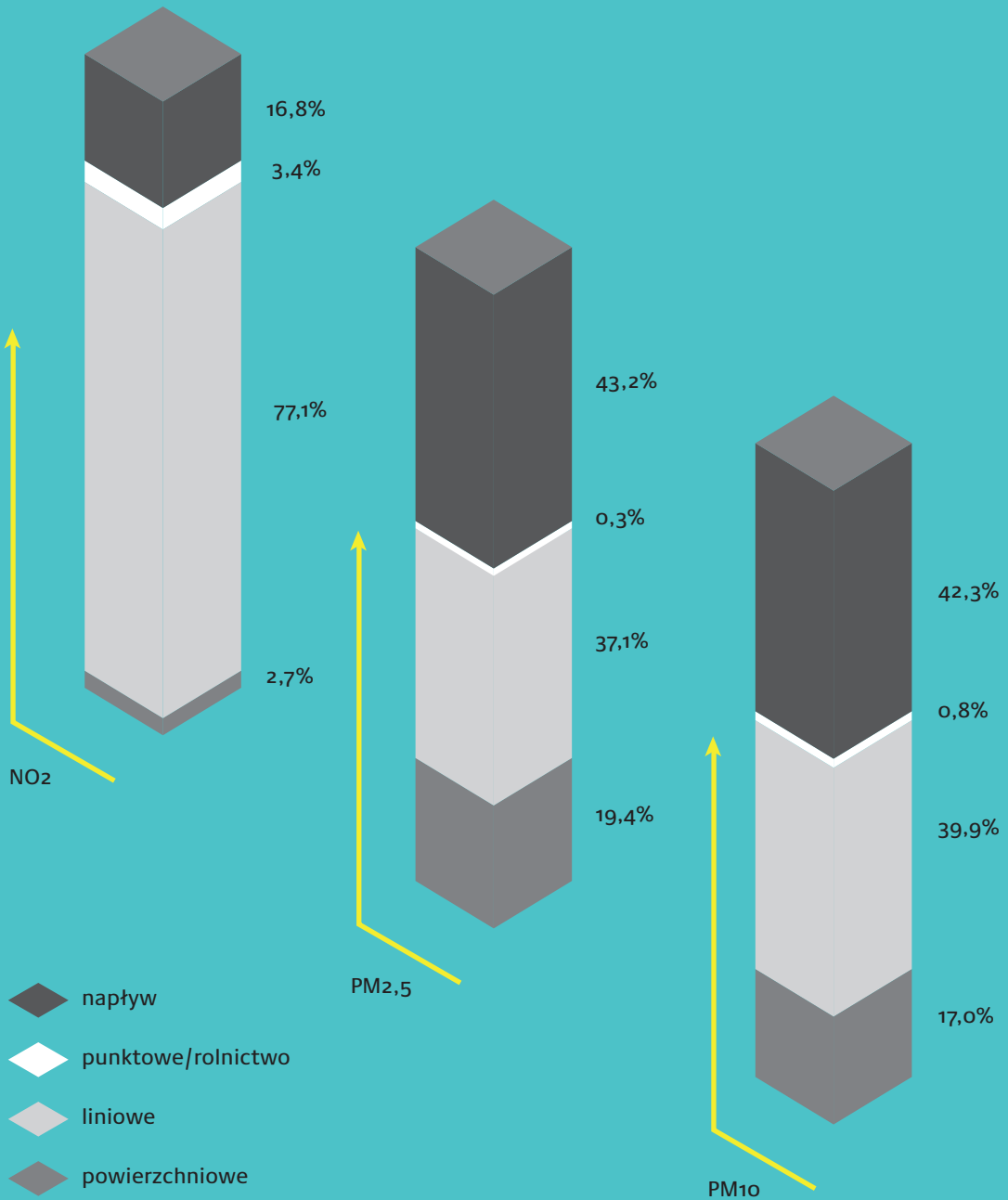
Trzecie miejsce zajmują źródła powierzchniowe, których odpowiedzialność za wielkość stężeń średniorocznych w obszarze przekroczeń jest niemal dwukrotnie niższa niż źródeł dominujących i osiąga 17% dla pyłu **PM₁₀** i ponad 19% dla pyłu **PM_{2,5}**.

Za wielkość stężeń **NO₂** w Warszawie w obszarze przekroczeń odpowiadają przede wszystkim źródła liniowe, których udział przekracza 77%.

Wyraźnie mniejsze znaczenie ma napływ zanieczyszczeń, który osiąga blisko 17%. Natomiast niewielkie znaczenie mają źródła powierzchniowe i punktowe. Ich udział utrzymuje się na poziomie nieprzekraczającym 3%. Choć w bilansie emisji zanieczyszczeń największy udział stanowi emisja **NO_x** ze źródeł punktowych, jednak ma ona niewielki wpływ na poziom stężeń **NO₂** w obszarach przekroczeń w Warszawie. Wynika to z faktu, że zanieczyszczenia z wysokich emitorów transportowane są na dalekie odległości i rozprzestrzeniają się powyżej miejskiej zabudowy. Zanieczyszczenia ze źródeł powierzchniowych oraz komunikacyjnych kumulują się przy powierzchni ziemi oraz wzdłuż arterii komunikacyjnych w centrum miasta, co w głównej mierze wpływa na wysokość stężeń zanieczyszczeń.



Udział poszczególnych źródeł w poziomie zanieczyszczeń powietrza trzema substancjami na obszarach przekroczeń w Warszawie



Dzielnica dzielnic nierówna

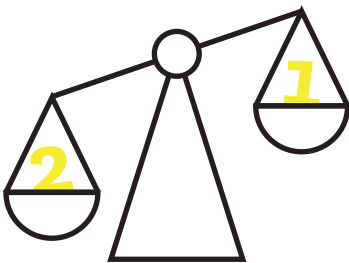
Uwaga! Przy analizowaniu jakości powietrza na terenie dzielnic trzeba pamiętać, że „napływ” oznacza wyłącznie powietrze spoza granic Warszawy.

Warszawa to osiemnaście dzielnic, z których każda mogłaby być oddzielnym dużym lub przynajmniej średnim miastem. Nic dziwnego, że zróżnicowane i oddalone od siebie niekiedy o kilkadziesiąt kilometrów obszary różnią się od siebie znacząco jakością powietrza. Nie ma w tym nic dziwnego – położone centralnie Śródmieście zmagają się z zupełnie innymi problemami niż zakorkowana Ochota, pozbawiona wystarczającego dostępu do sieci ciepłowniczej Praga-Północ czy położony blisko granic miasta, tranzytowy Ursus, Białołęka i Targówek.

Pył PM₁₀ oraz PM_{2,5}

Cząsteczki pyłu zawieszonego o średnicy mniejszej niż 10 μm i 2,5 μm (PM₁₀ i PM_{2,5}) to szkodliwe substancje, które przez górne drogi oddechowe i płuca przenikają do krwi. O skali negatywnego wpływu pyłów na zdrowie człowieka decyduje skład chemiczny i biologiczny oraz rozmiar i kształt ziaren. Wiadomo też, że istnieje związek między stężeniem najdrobniejszych frakcji pyłów a stopniem ryzyka zdrowotnego mieszkańców.

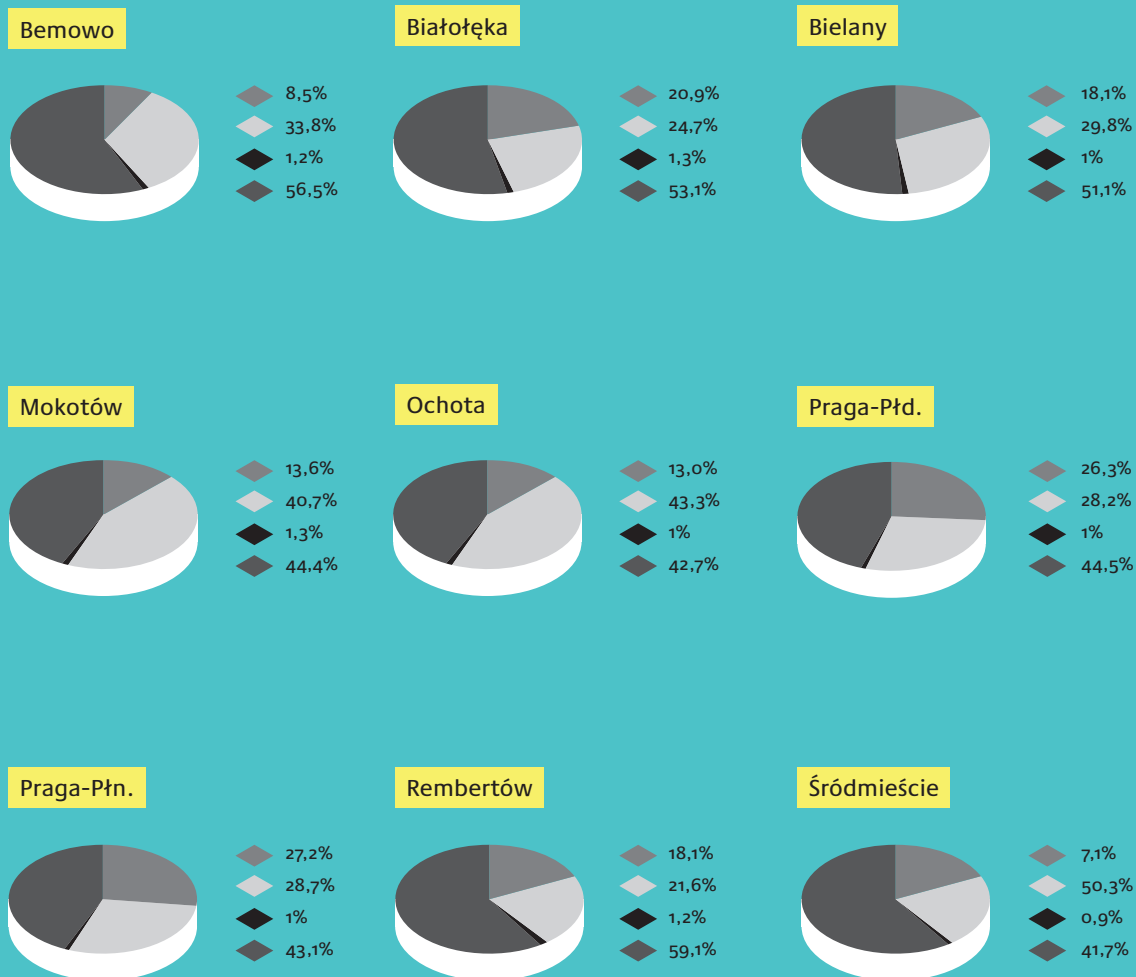
Pył miejski zawiera szereg substancji pochodzących ze spalania węgla do wytwarzania energii oraz ciepła. Ich głównym składnikiem są cząstki skały płonnej, sadzy i niedopalonych ziaren węgla. Oprócz tego w składzie chemicznym ziaren pyłów znajdują się metale i ich związki, azbest oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, w szczególności benzo(a)piren uważany za czynnik rakotwórczy. Oprócz emisji komunikacyjnej (transport samochodowy), substancje te wydzielają się podczas spalania śmieci, węgla oraz drewna złej jakości. Inną, bardzo niebezpieczną substancją, którą znaleźć można w składzie pyłów, to arsen i jego związki. Głównym źródłem jego emisji do atmosfery są procesy spalania paliw w energetyce i przemyśle oraz w paleniskach i kotłowniach indywidualnych.



Przestrzenne zróżnicowanie terenów w Warszawie ze względu na Roczny Indeks Jakości Powietrza dla roku 2015



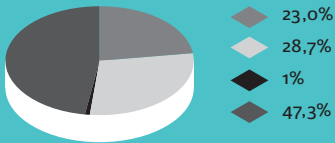
Udział poszczególnych grup źródeł emisji w wielkości stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego **PM₁₀** na obszarach przekroczeń w dzielnicach w 2015 roku



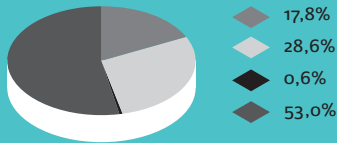
Grupy źródeł emisji:

- powierzchniowe
- punktowe/rolnictwo
- liniowe
- napływ

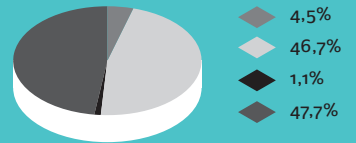
Targówek



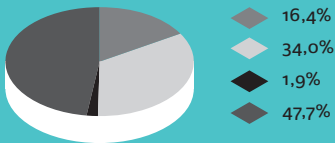
Ursus



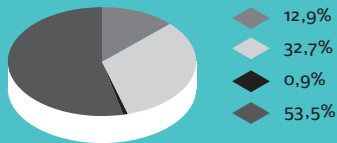
Ursynów



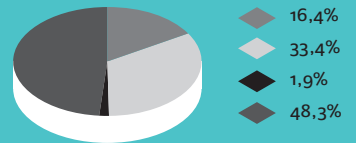
Wawer



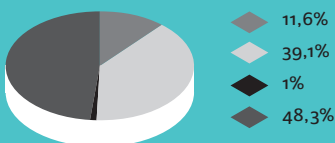
Wesoła



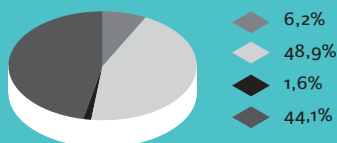
Wilanów



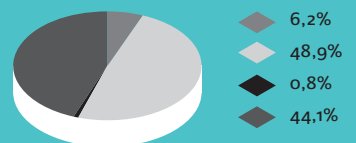
Włochy



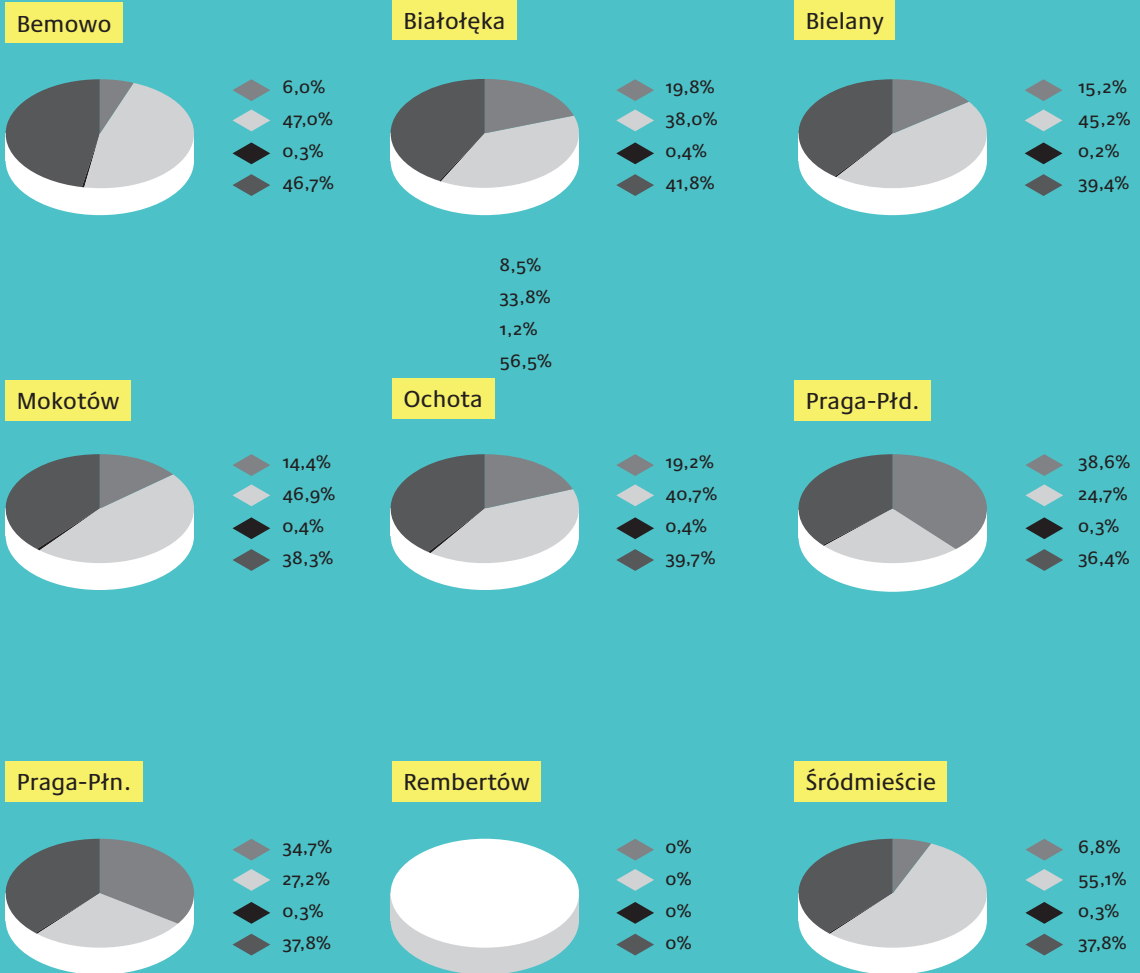
Wola



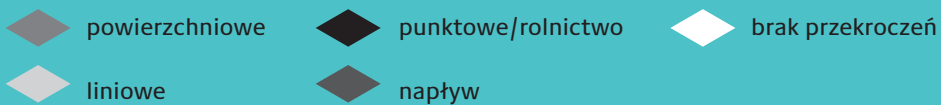
Żoliborz



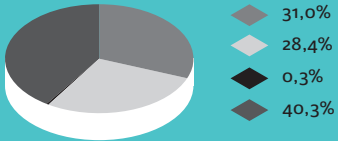
Udział poszczególnych grup źródeł emisji w wielkości stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego **PM_{2,5}** na obszarach przekroczeń w dzielnicach w 2015 roku



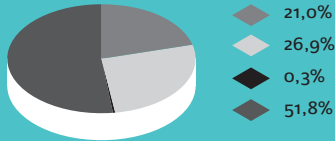
Grupy źródeł emisji:



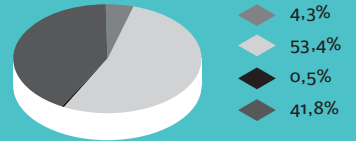
Targówek



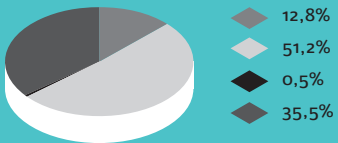
Ursus



Ursynów



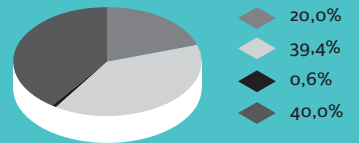
Wawer



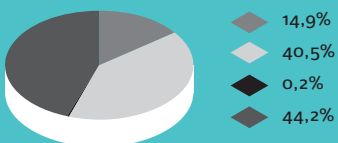
Wesoła



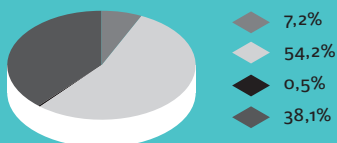
Wilanów



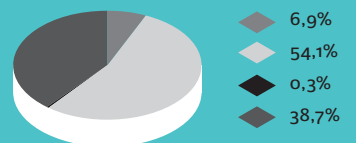
Włochy



Wola



Żoliborz



Epizody wysokich stężeń

Nie ma zanieczyszczonego powietrza bez odpowiednio dużej emisji, ale to tylko jeden z czynników. Często o rozmiarze i intensywności problemu decydują warunki rozprzestrzeniania zanieczyszczeń, szczególnie pogoda.

Co to jest wysokość warstwy mieszanania?

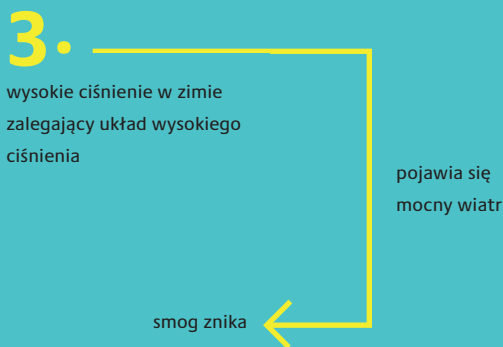
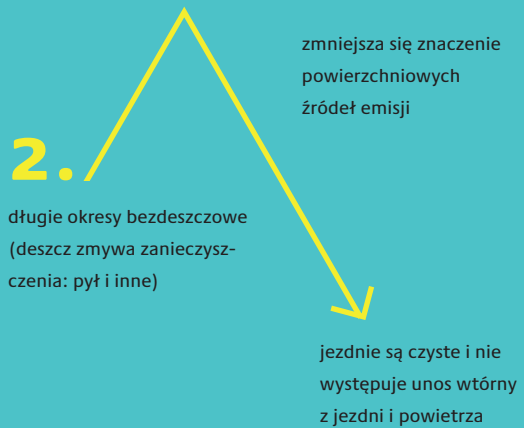
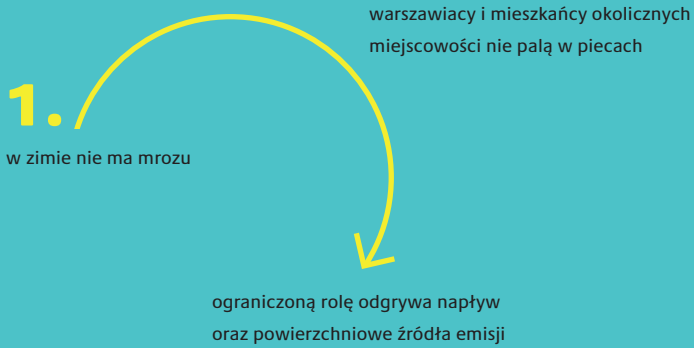
Wysokość warstwy mieszanania (MH) to pionowy zasięg skutecznego rozprowadzania w powietrzu zanieczyszczeń. Wysokość ta zmienia się w ciągu doby. Waha się od kilkudziesięciu metrów nocą do kilkuset, a w sprzyjających warunkach, kilku tysięcy metrów w porze dziennej. W nocy jest niższa, ponieważ mamy do czynienia z tzw. przygruntową inwersją temperatury, tłumiącą pionowe ruchy powietrza. Duże wartości wysokości warstwy mieszanania w dzień są związane z konwekcją, wybitnie sprzyjającą tym ruchom. Przy takiej samej emisji zanieczyszczeń dla dużych wartości MH stężenia zanieczyszczeń będą niższe, niż w sytuacji, kiedy wartości MH są niskie (def. za: www.smog.imgw.pl)

Zanieczyszczenie powietrza w Warszawie jest rezultatem nakładania się emisji z wielu różnego rodzaju źródeł. Jednak o tym, czy danego dnia powietrze będzie dobre czy złe, ostatecznie decyduje jeszcze jeden, najważniejszy czynnik – warunki meteorologiczne.

Roczny Indeks Jakości powietrza daje do ręki wiarygodne wskaźniki do analizowania, czy i gdzie w Warszawie możemy odetchnąć zdrowo i spokojnie. Rok po roku obserwować można, jak zmienia się stan powietrza, gdzie nastąpiła poprawa, a w których miejscach ciągle jest jeszcze wiele do zrobienia. RIJP uwzględnia jakość powietrza z każdego dnia roku – czyli oczywiście także z tych, które nazywane są epizodami wysokich stężeń. Są to dni, w których normy jakości bywają przekroczone tak mocno, że osobom starszym, dzieciom oraz kobietom w ciąży odradza się wychodzenie z domu.

Obserwując wnikliwie epizody podwyższonych stężeń, możemy przekonać się na własne oczy, że wśród wielu czynników wpływających na jakość powietrza kluczową rolę odgrywają warunki meteorologiczne. A stąd już krok od podjęcia działań, które pozwolą stworzyć warunki do wykorzystania pogody jako sprzymierzeńca w walce o lepsze powietrze.

Meteorologiczne akcje i reakcje



Epizod wysokiego stężenia 10 marca 2015

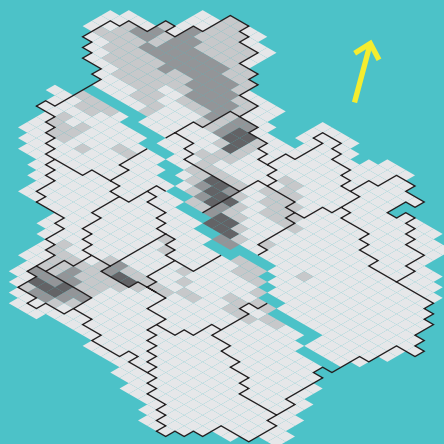
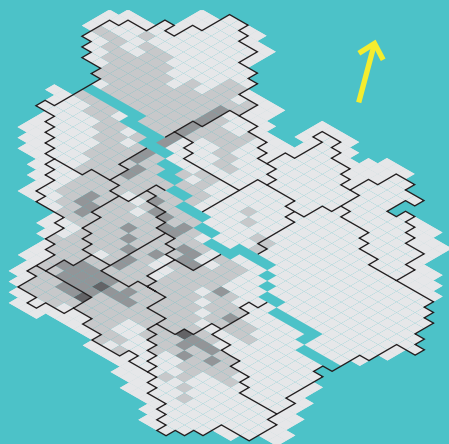
- Wiatr: z południa, w większości obszaru miasta prędkość nie przekracza 2 m/s, co w zasadzie oznacza warunki bezwietrzne. Jedynie na terenie Wesołej prędkość wiatru jest wyższa niż 2,5 m/s.
- Wysokość warstwy mieszanania: niska, nad większością miasta nie przekracza 250 m. Jedynie na wschodzie miasta (Wesoła, częściowo Rembertów i Wawer) przekracza 250 m.

Już emisja pochodząca ze źródeł zlokalizowanych poza Warszawą powoduje przekroczenie dopuszczalnego poziomu stężenia dobowego w dużej części miasta (szczególnie od strony północnej, zachodniej i południowej).

Nakłada się na to emisja liniowa, która na większości terenów lewobrzeżnej Warszawy oraz wzdłuż głównych arterii komunikacyjnych prawobrzeżnej Warszawy przekracza $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a na terenie Ursusa i Włoch przekracza dopuszczalne $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Całość obrazu dopełnia emisja powierzchniowa, która w niektórych dzielnicach generuje stężenia wyższe od $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a punktowo pojawiają się miejsca ze stężeniem powyżej $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Epizody stężeń z dnia 10 marca 2015 r. pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące ze **źródeł liniowych**

Epizody stężeń z dnia 10 marca 2015 r. pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące ze **źródeł powierzchniowych**



≤20

35-50,5

>70

20-35

50,5-70

→ kierunek wiatru

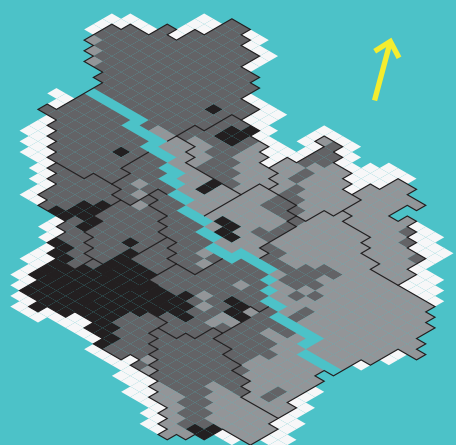
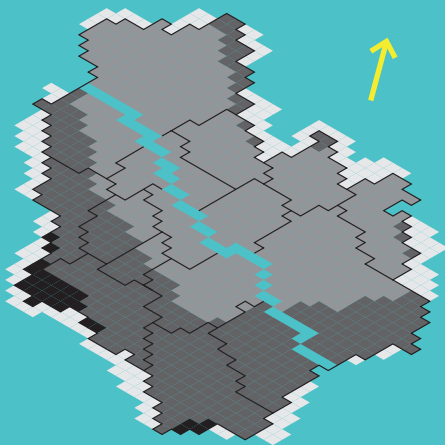
! ~5°C

- Temperatura: ok. 5°C
- Stężenia dobowe PM10 przekraczają poziom dopuszczalny (50 µg/m³). Najwyższe stężenia notowane są w południowo-zachodniej części miasta.

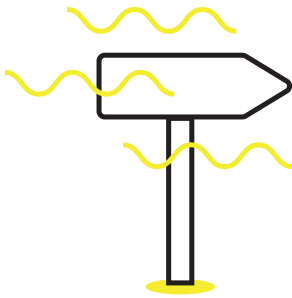
Udział poszczególnych grup źródeł emisji w wielkości stężeń dobowych w tym epizodzie przesuwają się w kierunku wyraźnego wzrostu udziału napływu (ok. 60%-78%), maleje udział źródeł liniowych w poszczególnych dzielnicach w stosunku do danych rocznych. Najniższy jest na terenie Wesołej i Wawra (ok. 12%), a najwyższy w Śródmieściu, gdzie przekracza 30%. Udział źródeł powierzchniowych zmienia się w różnym stopniu. W niektórych dzielnicach maleje (np. Bielany, Targówek, Ursynów), w innych wzrasta (np. Śródmieście, Ursus) w stosunku do udziałów w stężeniach średniorocznych.

Epizody stężeń z dnia 10 marca 2015 r. pyłu zawieszonego PM10 [µg/m³] pochodzące z **napływów**

Epizody stężeń z dnia 10 marca 2015 r. pyłu zawieszonego PM10 [µg/m³] pochodzące z **emisji całkowitej**



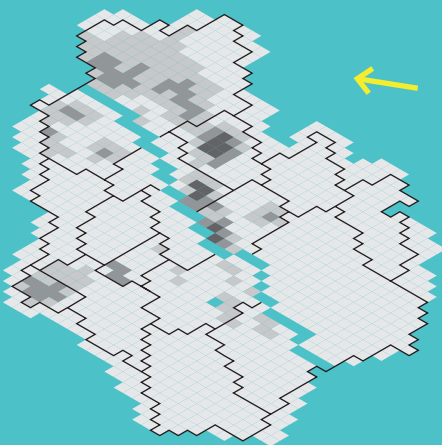
Epizod wysokiego stężenia 19 marca 2015



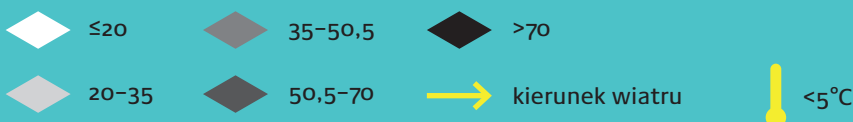
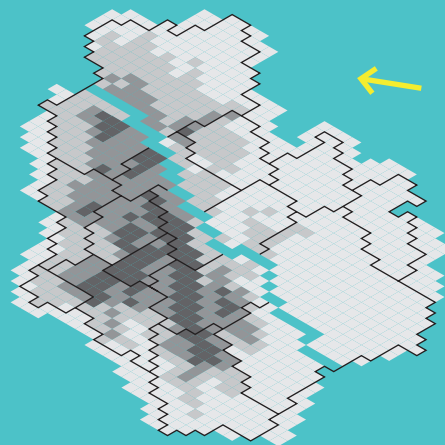
Tego dnia sytuacja jest inna niż 10 marca, ponieważ emisja pochodząca ze źródeł zlokalizowanych poza Warszawą prawie na terenie całego miasta generuje stężenia poniżej dopuszczalnego poziomu stężenia dobowego PM₁₀. W przeważającej części miasta stężenia te nie przekraczają 35 µg/m³. Jedynie na południowo-zachodnich oraz północno-wschodnich obrzeżach Warszawy napływ powoduje przekroczenie normy.

W porównaniu z 10 marca, wyższe stężenia na większym obszarze generuje emisja ze źródeł liniowych, prowadząc nawet do przekroczenia poziomu dopuszczalnego (50 µg/m³) w lewo-brzeżnej części Warszawy.

Epizody stężeń z dnia 19 marca 2015 r. pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] pochodzące ze **źródeł powierzchniowych**



Epizody stężeń z dnia 19 marca 2015 r. pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] pochodzące ze **źródeł liniowych**

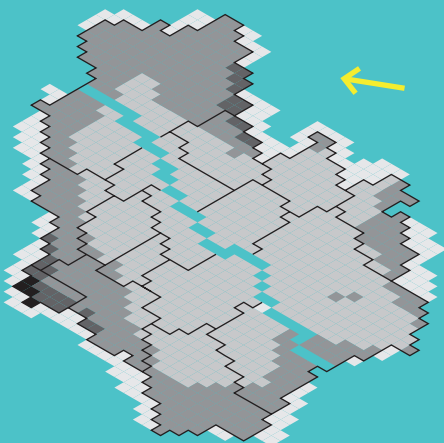


- Wiatr ze wschodu w całej Warszawie nie przekracza 2 m/s, (czyli niemal bezwietrznie).
- Wysokość warstwy mieszania: pomiędzy 300 m a 380 m.
- Temperatura: poniżej 5°C.
- Stężenia dobowe PM₁₀ przekraczają poziom dopuszczalny (50 µg/m³). Jedynie wschodnia i południowo-wschodnia część miasta notuje stężenia dobowe PM₁₀ w normie. Najwyższe stężenia, przekraczające 100 µg/m³ notowane są w centralnych, południowo-zachodnich i północnych dzielnicach.

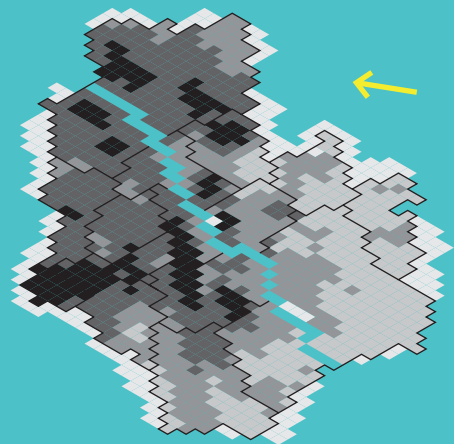
Również emisja powierzchniowa generuje wyższe stężenia niż w czasie epizodu 10 marca, a na Targówku oraz Pradze stężenia powodowane przez źródła powierzchniowe przekraczają poziom dopuszczalny. Udział poszczególnych grup źródeł emisji w wielkości stężeń dobowych w epizodzie 19 marca jest zbliżony do udziałów średnich dla roku, ale następuje niewielki wzrost źródeł liniowych i powierzchniowych.

Udział napływu mieści się w przedziale pomiędzy ok. 36% w Śródmieściu do 67% w Wesołej. Największy udział źródeł liniowych notowany jest na Ochocie i Woli (52,5%), a najmniejszy w Wesołej (16,4%). Udział źródeł powierzchniowych jest wyższy od średniej i mieści się w przedziale od 5,3% na Ursynowie do 31% na Pradze-Północ. W porównaniu do 10 marca udział źródeł powierzchniowych we wszystkich dzielnicach jest wyższy.

Epizody stężeń z dnia 19 marca 2015 r. pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] pochodzące z **napływów**



Epizody stężeń z dnia 19 marca 2015 r. pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] pochodzące z **emisji całkowitej**



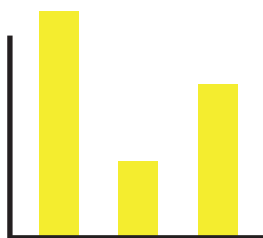
Epizod porównawczy 16 lutego 2015

- Wiatr południowy, słaby, w całej Warszawie nie przekracza 3 m/s.
- Wysokość warstwy mieszanina: na większości obszaru miasta poniżej 200 m. W południowo-zachodniej części miasta (Bemowo, Ursus, Włochy, Ursynów) wysokość warstwy mieszanina nie przekracza 135 m.
- Temperatura: powyżej 5°C.
- Stężenia dobowe PM₁₀ w całej Warszawie przekraczają poziom dopuszczalny (50 µg/m₃).
- Najwyższe stężenia notowane są w południowo-zachodniej, północnej oraz centralnej części miasta.

Po przeprowadzeniu szczegółowych analiz epizodów wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ w okresie zimowym w 2015 roku do porównania wybrany został jeszcze jeden dzień o odmiennych warunkach meteorologicznych. Na potrzeby analizy szukano dnia z temperaturą poniżej 0°C oraz z dużą prędkością wiatru. Jak wiadomo, niska temperatura na zewnątrz zwiększa zapotrzebowanie na ciepło, co z kolei powoduje wzrost emisji z indywidualnych systemów grzewczych. Celem dodatkowej analizy było sprawdzenie, jak większa emisja powierzchniowa przy jednoczesnym silnym wietrze wpłynie na wielkość stężeń dobowych pyłu PM₁₀.

Po analizie warunków meteorologicznych w okresie zimowym wybrano 16 lutego 2015 roku.

Tego dnia, mimo niskiej temperatury, prawie na całym obszarze miasta stężenia dobowe PM₁₀ są niższe niż 25 µg/m₃. Jedynie na małych obszarach Targówka oraz Ursusa notowane są wyższe stężenia. Dobrą jakość powietrza mimo niesprzyjającej temperatury należy powiązać z mocnym wiatrem, który stworzył zdecydowanie korzystne warunki dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.



Epizody stężeń z dnia 16 lutego 2015 r. pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z **emisji całkowitej**



O czym mówią epizody wysokich stężeń?

Epizody wysokich stężeń zdarzają się także latem. Dochodzi wówczas do przekroczenia norm zanieczyszczenia ozonem. W przypadku ozonu wysokość stężeń w przyziemnej warstwie atmosfery uzależniona jest od nasłonecznienia oraz emisji prekursorów ozonu z terenów nawet bardzo oddalonych od Warszawy.

Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ pojawiają się przy niekorzystnych warunkach meteorologicznych, utrudniających rozprzestrzenianie zanieczyszczeń. Głównymi czynnikami decydującymi o wysokości stężeń są prędkość wiatru oraz wysokość warstwy mieszania nad Warszawą.

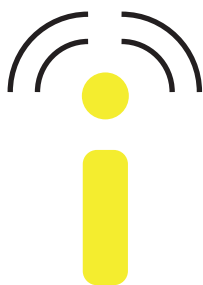
Spadek prędkości wiatru poniżej 3 m/s powoduje wyraźny wzrost stężeń pyłu PM₁₀, a w przypadku wystąpienia warunków prawie bezwietrznych (prędkość wiatru poniżej 2 m/s) prowadzi do przekroczenia dobowego poziomu dopuszczalnego go na całym lub niemal na całym obszarze miasta.

Kierunek wiatru ma istotny wpływ na wielkość stężeń generowanych przez źródła zlokalizowane poza Warszawą. Widać to wyraźnie na wykresie, porównującym średnie udziały poszczególnych rodzajów źródeł emisji na obszarze przekroczeń poziomu dopuszczalnego pyłu PM₁₀ w czasie epizodów (10 III – wiatr południowy, 19 III – wiatr wschodni i południowo-wschodni).

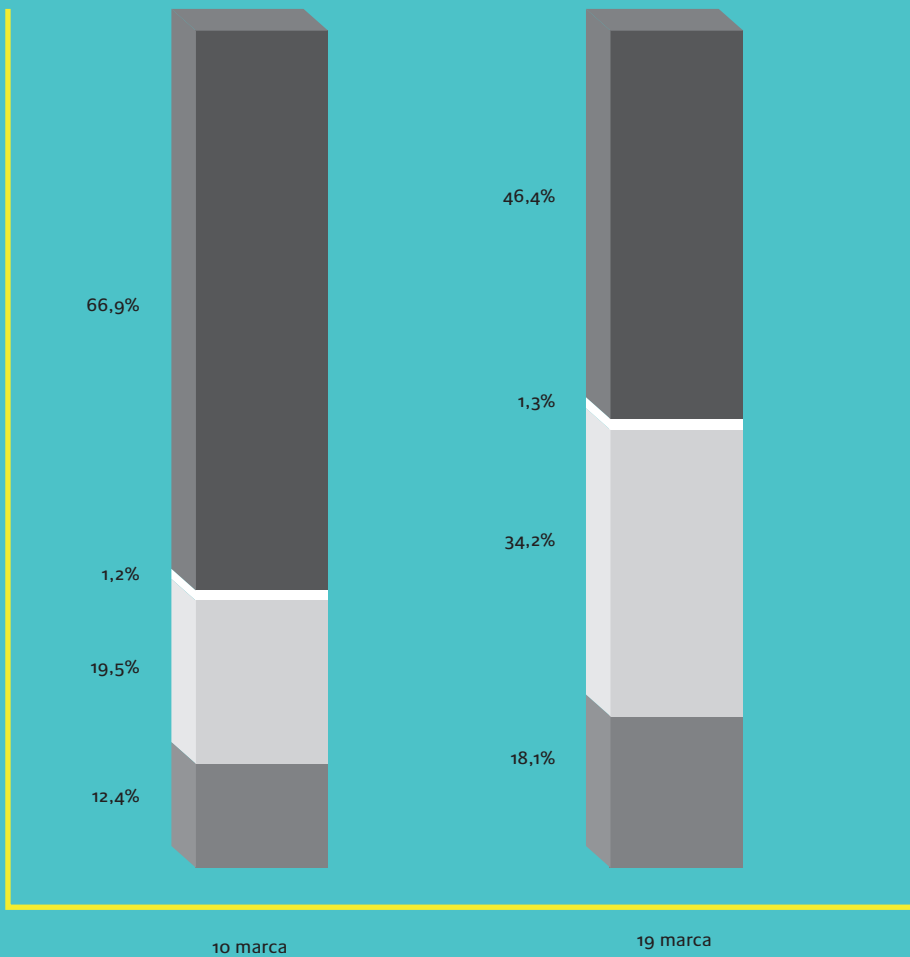
Temperatura, pomimo wpływu na intensywność ogrzewania pomieszczeń, nie jest najważniejszym czynnikiem kształtującym wysokość stężeń – epizody wysokich stężeń pyłu PM₁₀ notowane są zarówno przy temperaturze nieznacznie przekraczającej 0°C, jak i przy kilkunastu stopniach.

Wzrost prędkości wiatru powoduje dobre przewietrzanie miasta, a co za tym idzie nie dochodzi do wzrostu stężeń powyżej poziomu dopuszczalnego.

Na niektórych obszarach miasta zbieg niekorzystnych czynników: napływ zanieczyszczeń, lokalna emisja ze źródeł liniowych (komunikacja samochodowa) i powierzchniowych (ogrzewanie budynków) oraz niekorzystne warunki przewietrzania prowadzą do występowania wysokich stężeń z dużą częstotliwością.



Udział poszczególnych grup źródeł emisji w wielkości stężeń dobowych pyłu zawieszonego PM₁₀ na obszarach przekroczeń w Warszawie w czasie analizowanych epizodów wysokich stężeń



-  powierzchniowe
-  punktowe/rolnictwo
-  liniowe
-  napływ

Warunki komfortu aerosanitarnego w Warszawie

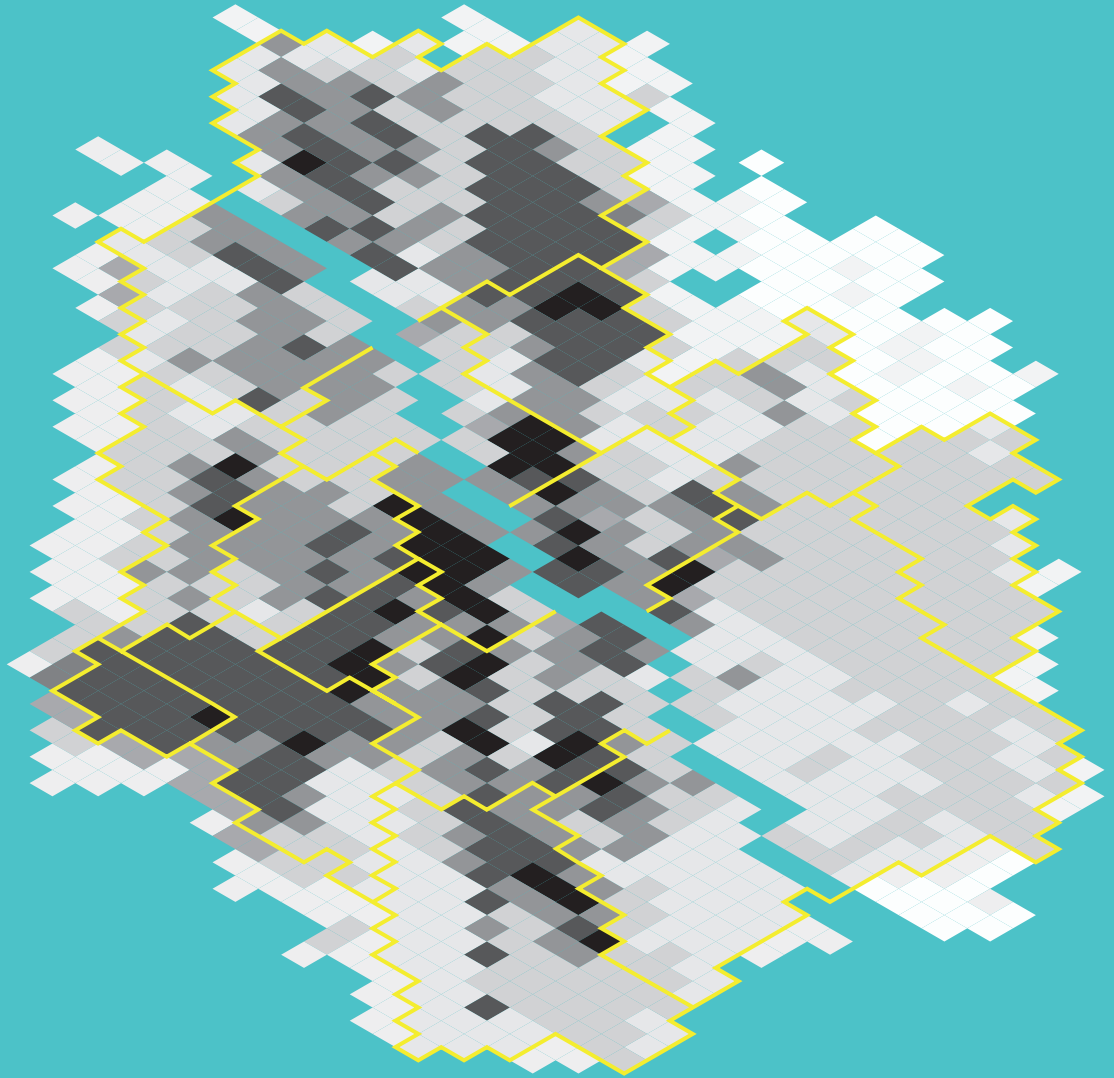
Określenie warunków komfortu aerosanitarnego dla Warszawy pozwala na wskazanie tych obszarów miasta, które pomimo słabego przewietrzania cechuje dobry Roczny Indeks Jakości Powietrza oraz tych, które są szczególnie narażone ze względu na złe warunki przewietrzania połączone ze złą jakością powietrza.

Dzięki Rocznemu Indeksowi Jakości Powietrza łatwo można sprawdzić jakim powietrzem oddychają mieszkańcy Warszawy. Z kolei wyznaczenie bonitacji przewietrzania pozwala określić, które części miasta cieszyć się mogą z najlepszych warunków naturalnego oczyszczenia powietrza przez wiatr. To jednak nie wszystkie korzyści, jakie dają opracowane dane. Po nałożeniu na siebie mapy bonitacji i indeksu powstaje unikalna mapa wynikowa, określająca warunki komfortu aerosanitarnego w mieście. Dzięki niej obserwować można przestrzenne zależności pomiędzy warunkami przewietrzania a jakością powietrza w Warszawie.

Metoda wyznaczenia warunków komfortu aerosanitarnego

Bonitacja Przewietrzania →	dobra	umiarkowana	zła
Indeks Jakości Powietrza ↓			
dobry	bardzo dobre	umiarkowanie dobre	umiarkowanie dobre
umiarkowany	umiarkowanie dobre	dostateczne	niezadowalające
zły	niezadowalające	niezadowalające	złe

Mapa kategoryzacji terenów Warszawy ze względu na warunki komfortu aerosanitarne



Warunki komfortu aerosanitarne:



Warunki komfortu aerosanitarnego w dzielnicach

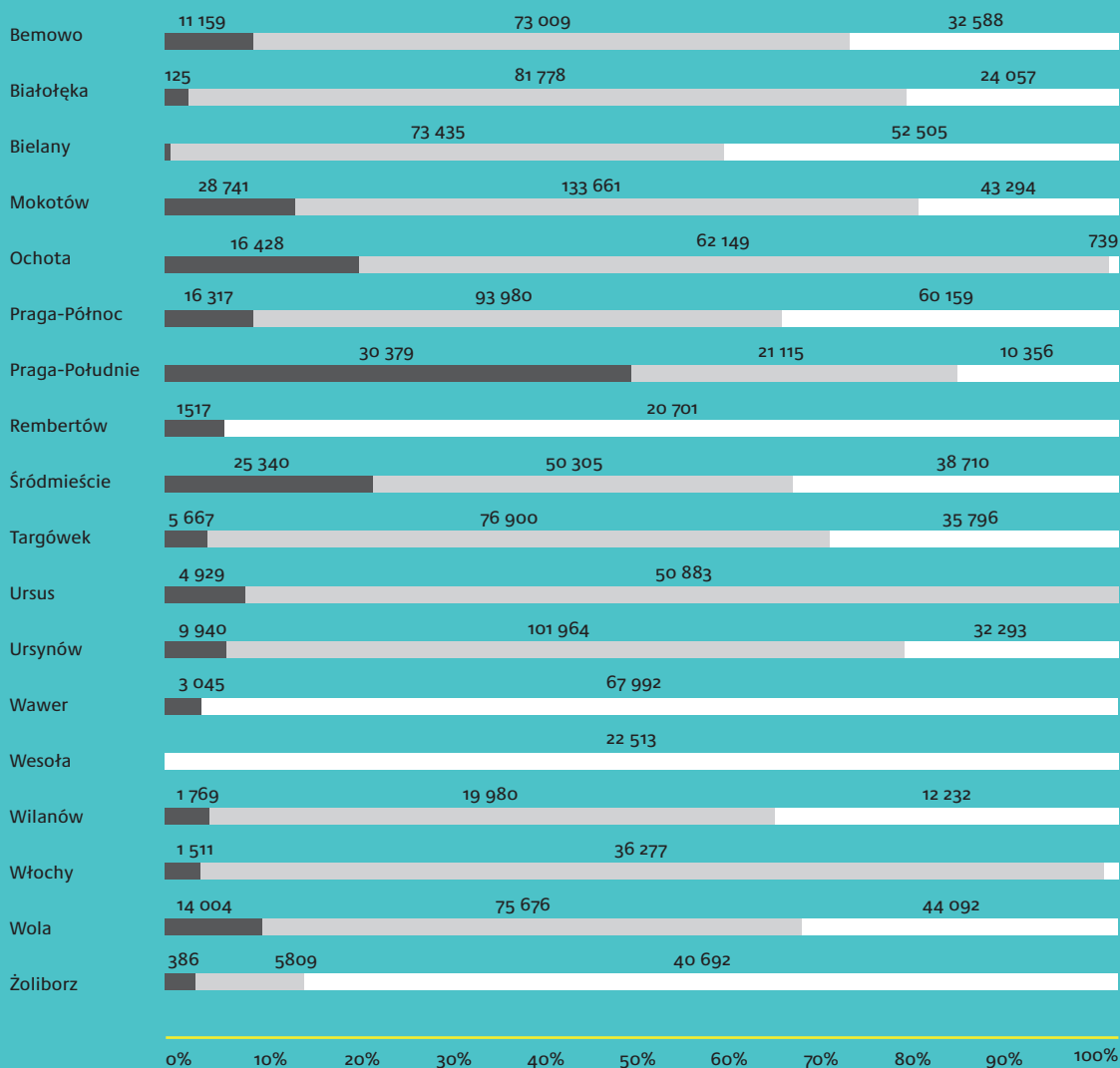
Analiza przestrzenna warunków aerosanitarnych w poszczególnych częściach miasta potwierdza wcześniejsze wnioski dotyczące współczesnej roli tradycyjnych klinów napowietrzających. Część obszarów o korzystnych warunkach aerosanitarnych pokrywa się z wyznaczonymi korytarzami wymiany powietrza, jednak nie wszystkie. Dlatego właściwe wydaje się wyznaczenie terenów, które faktycznie stanowią cenne obszary przewietrzania (wymiany powietrza) oraz ze względu na jego regenerację.

Analizy przestrzenne zaprezentowane na mapie wskazują, że ok. 10% ludności Warszawy mieszka na terenach, gdzie warunki komfortu aerosanitarnego zostały określone jako złe. Największy odsetek mieszkańców mieszkających w warunkach złego komfortu aerosanitarnego jest w dzielnicach Praga-Północ, Śródmieście i Ochota.

Na obszarach, które sklasyfikowano pod względem warunków aerosanitarnych jako bardzo dobre lub umiarkowanie dobre mieszka ok. 32% ludności Warszawy. Najlepiej sytuacja przedstawia się w dzielnicach Wesoła, Wawer, Rembertów i Żoliborz, gdzie wszyscy lub zdecydowana większość ludności mieszka na terenach o korzystnych warunkach aerosanitarnych.

Większość warszawiaków (ponad 57%) mieszka na obszarach, gdzie warunki aerosanitarnie sklasyfikowano jako dostateczne lub niezadowolające.

Liczba mieszkańców zamieszkałych na terenie o różnych kategoriach warunków komfortu aerasanitarne

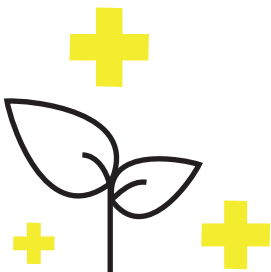


Kierunek: przewietrzanie i regeneracja powietrza

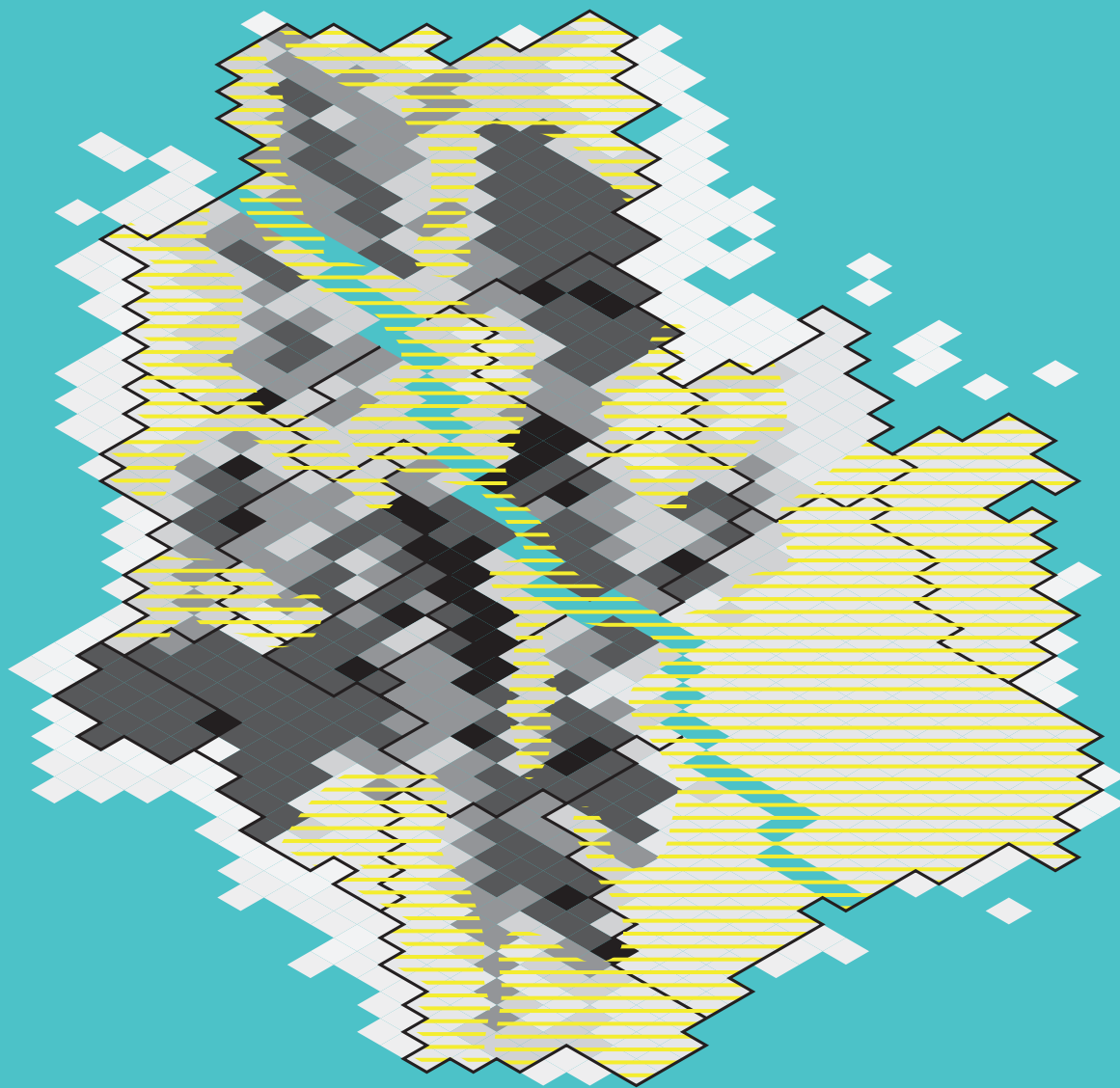
Miejski komfort aerosanitarny da się w pewnym stopniu kształtować. Można to robić, ograniczając źródła emisji. Jednocześnie do poradzenia sobie z istniejącymi zanieczyszczeniami warto wykorzystywać zjawiska pogodowe. Wymaga to m.in. tworzenia warunków, w których wiatr będzie mógł jeszcze skuteczniej oczyszczać miejskie powietrze. By tak się stało, konieczne jest przestrzeganie zasad zagospodarowania przestrzennego obszarów, które pełnią w mieście funkcje klimatyczne, w tym przede wszystkim służą przewietrzaniu i regeneracji powietrza.

Pierwszym krokiem do poprawy warunków przewietrzania jest zwiększenie udziału zieleni. Pamiętać jednak należy o dobrym doborze typów roślinności. Na obszarach przewietrzania nie jest wskazane sadzenie wysokich drzew. Lasy i parki hamują bowiem prędkość wiatru, a tym samym utrudniają wymianę powietrza (patrz róża wiatrów – strona 23). Natomiast dobre i bardzo dobre warunki przewietrzania panują na terenach łąk i upraw oraz w dolinach rzek i potoków, gdzie nie ma gęsto rosnących drzew. Stąd zamiast zieleni zwartej i wielowarstwowej w obszarach przewietrzania powinny znaleźć się krzewy, wysokie trawy, byliny i inne rośliny kojarzone z łąkami i polami. Natomiast zwarte zadrzewienia znakomicie sprawdzą się na obrzeżu tych terenów, tworząc układy tunelowe, sprzyjające wymianie powietrza.

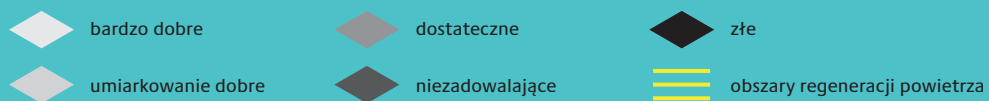
Zwarta i wysoka zieleni jest również pożądana na obszarach regeneracji powietrza (głównie tereny zieleni na północnym zachodzie i w południowo-wschodniej części miasta, a także nieliczne obszary użytków rolnych). Wysokie



Warunki komfortu aerosanitarnego w Warszawie
z proponowanymi obszarami regeneracji powietrza



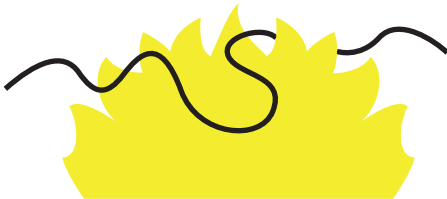
Warunki komfortu aerosanitarnego:



drzewa warto również sadzić na obszarach gęsto zabudowanych, gdzie pobudzają one lokalną pionową wymianę powietrza. Na terenach zurbanizowanych istotną rolę odgrywa bowiem cyrkulacja wymuszona termicznie, która zachodzi pomiędzy sąsiadującymi ze sobą, silnie nagrzewającymi się budynkami i chłodniejszymi terenami zieleni. Im większy obszar zieleni, tym silniejsza jest penetracja powietrza z tego obszaru w obręb zabudowy. Gęsta i wysoka ściana roślinności jest w stanie chłodzić budynki oddalone nawet o kilkaset metrów.

Rekomendacje:

- Zachowanie odpowiedniego udziału powierzchni biologicznie czynnej na terenach peryferyjnych, na przedmieściach Warszawy (50-60%). Zapewnienie ich zagospodarowania trwałą zielenią o różnej wysokości. Zabudowa i zieleń powinny być tak kształtowane, aby wspomagać procesy przewietrzania i regeneracji powietrza i nie stanowić barier w napływie czystego powietrza w centralne rejony miasta. Dotyczy to przede wszystkim korytarzy: bemowskiego, kolejowego północnego i kolejowego zachodniego.
- U wylotu w kierunku miasta terenów o dobrej wentylacji (obszary średniej prędkości wiatru $> 3\text{m/s}$) należy unikać zabudowy wielopiętrowej, w szczególności zorientowanej prostopadle do głównej osi przewietrzania.
- Zwiększenie udziału zieleni, szczególnie wysokiej (w miarę dostępności terenu: parki, skwery, ogrody, w ostateczności – zielone ściany) na obszarach intensywnej zabudowy o słabej wymianie powietrza. Na tych obszarach należy chronić istniejącą zieleń międzyblokową i wewnątrz kwartałową, a w wolnych przestrzeniach pomiędzy istniejącą i planowaną zabudową wprowadzać zieleń wysoką.



- Wzrost powierzchni lasów i zadrzewień na obszarze miasta powinien następować głównie po obrzeżach terenów otwartych. Pożądane jest także zwiększenie zalesień izolacyjnych w otoczeniu powierzchniowych, przemysłowych źródeł emisji (głównie północna część miasta). Układ zadrzewień powinien mieć formę klinów biegnących z peryferii ku centrum miasta, aby kierunkować napływ powietrza i zwiększać jego prędkość, wywołując efekt tunelowy.
- Zwiększanie zasięgu terenów zieleni i wód (tzw. błękitno-zielona infrastruktura) w celu łagodzenia skutków miejskiej wyspy ciepła, w taki sposób, aby mogły one stanowić trwałe i samowystarczalne systemy przyrodnicze, najlepiej też powiązane z obszarami pozamiejskimi.
- Właściwe projektowanie terenów zieleni: dobór odpornych, rodzimych gatunków oraz zapewnienie ich powiązań z większymi obszarami zieleni pozamiejskiej. Zapewnia ono trwałość tych ekosystemów i minimalizuje koszty ich pielęgnacji.
- Ograniczanie nadmiernego uszczelnienia terenu poprzez zapewnienie odpowiedniego udziału powierzchni biologicznie czynnej oraz właściwe jej zagospodarowanie umożliwiające naturalną wegetację roślin (drzew, krzewów, a nie tylko trawy).
- Wprowadzanie do ustaleń dokumentów planistycznych odpowiednich wskaźników, służących zapewnieniu komfortu aerosanitarnego, dostępu do terenów zieleni i wypoczynku oraz adaptacji do zmian klimatu na terenach zwartej zabudowy.

Publikacja Klimat Warszawy, wydana jest przez Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego m.st. Warszawy i jest ona dostępna za darmo w siedzibie BAiPP przy ulicy Marszałkowskiej 77/79 oraz na stronie internetowej: www.architektura.um.warszawa.pl/polityka-przestrzenna

Publikacja powstała w oparciu o opracowanie naukowe „Potencjał do kształtowania warunków klimatycznych – w tym wymiany i regeneracji powietrza w Warszawie”, przygotowanej przez zespół w składzie:

zespół autorski:

koordynator merytoryczny BAiPP

mgr Jolanta Pawlak

koordynator konsorcjum

mgr inż. Magdalena Załupka

ATMOTERM S.A.

dr Jacek Jaśkiewicz, mgr inż. Wojciech Łata

mgr inż. Elżbieta Płuska, mgr inż. Tomasz Przybyła

dr inż. Iwona Rackiewicz, mgr inż. Marek Rosicki

Thomas Schönfelder (BA), mgr Iwona Szatkowska

mgr Anna Wahlig, mgr inż. Magdalena Załupka

ATMOTERM Inżynieria Środowiska Sp. z o.o.

mgr inż. Anna Miłułka, mgr inż. Marta Marzysz

Instytut Meteorologii Gospodarki Wodnej

dr Leszek Ośródka, dr Ewa Krajny

dr Marek Wojtylak, mgr Jolanta Godłowska

mgr Wiesław Kaszowski, mgr Marta Mizera

mgr Anna Ryszkowska

Politechnika Warszawska

dr inż. Robert Józwiak, mgr inż. Mariusz Rutkowski

mgr inż. Michał Remer

Pracownia Urbanistyki KANON

mgr inż. arch. Grzegorz Chojnacki

mgr inż. arch. kraj. Katarzyna Zantonowicz

mgr inż. arch. kraj. Marta Potocka

mgr inż. Paulina Starczewska

mgr inż. arch. Urszula Pielach-Gemzała

