

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 245637 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **434933**

(22) Data zgłoszenia: **2020.08.11**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.02.14 BUP 07/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.09.09 WUP 37/2024**

(51) MKP:

E01H 13/00 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**JACEK LESZCZYŃSKI, Częstochowa, PL
BARBARA KUBICA, Kraków, PL
WOJCIECH SUWAŁA, Kraków, PL
MARCIN STOBIEŃSKI, Tomaszowice, PL
KATARZYNA SZARŁOWICZ, Więckowice, PL
JANUSZ ZYŚK, Kraków, PL
FILIP JĘDRZEJEK, Kraków, PL
DOMINIK GRYBOŚ, Zagórzany, PL
MACIEJ BOREK, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Andrzej Rogowski, Kraków, PL

(54) Tytuł:

Sposób obniżenia stężenia pyłów w warstwie smogu, stanowiącej warstwę inwersyjną

PL 245637 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób obniżenia stężenia pyłów w warstwie smogu, szczególnie w sytuacji, gdy nie działają czynniki sprzyjające naturalnemu obniżaniu stężenia pyłów w warstwie smogu. Smog jest zjawiskiem atmosferycznym powstającym w wyniku wymieszania się wilgotnego powietrza z dymem, spalinami i cząstkami stałymi, bardzo często wraz z występującą kondensacją pary wodnej (mgłą). Zanieczyszczenie powietrza, jakim jest smog (typu londyńskiego), powstaje w wyniku emisji do atmosfery dużej ilości niebezpiecznych dla zdrowia związków chemicznych, takich jak między innymi: tlenki siarki i tlenki azotu oraz kancerogenne wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), a także substancji stałych, czyli pyłów zawieszonych (w tym PM₁₀, PM_{2,5} także uważanych za rakotwórcze).

Pył zawieszony PM (z ang. *Particulate Matter*) to mieszanina cząstek stałych o zróżnicowanych frakcjach w fazie gazowej lub ciekłej (z wyłączeniem kropel wody), zawieszonych w powietrzu zawilgotnionym. Źródłami zapylenia powietrza cząstkami pyłów są przede wszystkim: niska emisja obejmująca między innymi spalanie paliw stałych w sektorze komunalno-bytowym, transport samochodowy, czy też niezabezpieczone składowiska materiałów palących.

Dokładny skład pyłu uzależniony jest od warunków, w jakich doszło do jego powstania, ale często znajdują się w nim wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, metale ciężkie, furany, siarka, radionuklidy pochodzenia naturalnego i ewentualnie sztucznego oraz azbest. Wiele ze składników pyłu, np. benzo(a)piren, arsen, ołów, kadm, czy nikiel ma negatywny wpływ na zdrowie ludzkie i prowadzi przede wszystkim do chorób układu oddechowego, naczyniowo-kръżeniowego i nowotworowych. Między innymi arsen i jego związki zostały przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC) uznane za rakotwórcze dla ludzi i umieszczono je w grupie 1, co opisano np. w publikacji pt. „*Arsen i nieorganiczne związki arsenu. Wytyczne szacowania ryzyka zdrowotnego dla czynników rakotwórczych*” IMP, Łódź 2003, zeszyt 17, 5.

W analizach dotyczących jakości powietrza oraz zależności między jego stanem, a zdrowiem człowieka zazwyczaj wyróżnia się trzy frakcje pyłu zawieszonego: pył PM₁₀, który składa się z frakcji cząstek o rozmiarze do 10 µm, pył PM_{2,5} złożony z frakcji cząstek o rozmiarach do 2,5 µm oraz pył PM₁ złożony z frakcji ultradrobnych cząstek o rozmiarach do 1 µm. Zgodnie z normami WHO (Światowa Organizacja Zdrowia, ang. World Health Organization) dopuszczalne średniodobowe stężenie pyłów zawieszonych wynosi dla pyłu PM₁₀ – 50 µg/m³, a dla pyłu PM_{2,5} – 25 µg/m³. Pyły zawieszone mają różny skład mineralny, ale są bardzo dobrymi sorbentami zarówno metali ciężkich jak i gamma i alfa emiterów. Najnowsze dane z badań epidemiologicznych dostarczają dowodów, że narażenie ludzi na drobny pył zawieszony w powietrzu wiąże się ze zwiększonym ryzykiem wystąpienia arytmii serca i niedokrwiennego udaru mózgu oraz wielu innych nie do końca zidentyfikowanych schorzeń.

Dlatego niezwykle ważne i konieczne są wszelkie działania zmierzające do poprawy jakości powietrza szczególnie w przypadku wzrostu zapylenia do poziomu przekraczającego dopuszczalne normy.

Mechanizm gromadzenia się pyłów w przyziemnej warstwie atmosfery jest uwarunkowany wieloma losowymi czynnikami atmosferycznymi, a w szczególności zanikiem pionowych ruchów konwekcyjnych mas powietrza, wynikłych z wyrównanego pionowego profilu temperatury oraz niskich wartości temperatur. Przyczyną zaniku konwekcji w warstwie przygruntowej jest, w przeważającej części, powstająca warstwa inwersyjna, w której obszarze występowania, rozkład gradientu pionowego temperatury powietrza odbiega od przeważającego typu gradientu temperaturowego, charakteryzującego się wyrównanym spadkiem temperatury. W warstwie inwersyjnej temperatura, wraz z wysokością, wzrasta lub nie zmienia się, podczas gdy w normalnych warunkach powinna spadać. Warstwa inwersyjna składająca się z zalegającej masy powietrza cieplejszego, tworzy warstwę nakrywającą dla masy powietrza zimniejszego znajdującego się przy gruncie, co skutkuje zanikiem konwekcji stanowiącej naturalny mechanizm rozpraszania pyłów zawieszonych w powietrzu.

Naturalna konwekcja mas mieszaniny powietrza z parą wodną, gazami i cząstkami stałymi zanika wzdłuż wysokości licząc od gruntu, gdy gradient temperatury w warstwie inwersyjnej jest mniejszy niż 1,0 stopień Celsjusza na 100 m wysokości dla powietrza zawilgotnionego (o wilgotności względnej ponad 80%) lub mniejszy niż 0,6 stopnia na 100 m dla powietrza suchego (o wilgotności względnej mniejszej od 80%). Warunki takie występują najczęściej w okresie jesienno-zimowym i zimowo-wiosennym, wraz z obniżeniem wartości temperatury powietrza przygruntowego.

Wskutek powstałej warstwy inwersyjnej zanikają różnice w gęstościach powietrza wilgotnego i zanieczyszczonego pyłami, obserwowane wzdłuż wysokości, a w związku z tym siła wyporu $\vec{F}_w$ działająca

na pojedynczą cząstkę zawieszoną w powietrzu, jak i siła oporu aerodynamicznego powietrza $\vec{F}_D$, siła Magnusa $\vec{F}_M$, siła poprzecznego gradientu ciśnienia $\vec{F}_P$, siła Saffmana $\vec{F}_S$ równoważą się z siłami grawitacji $\vec{F}_G$ i kohezji $\vec{F}_K$ i Coriolisa $\vec{F}_C$. Cząstki stałe zawisają w powietrzu na określonych wysokościach, stale migrując między sobą, ale nie wznoszą się. Poprzeczno-konwekcyjne ruchy powietrza zawilgoconego i zanieczyszczonego, spowodowane zmianą poprzecznego przyrostu ciśnienia, dokonują przemieszczeń cząstek stałych w miejsca o uskokach, nieckach, zapadach i wszędzie tam, gdzie ukształtowanie terenu wskazuje na spadek wysokości. Istotną wielkością jest tutaj wysokość zawieszenia chmury zanieczyszczonej cząstkami stałymi liczona od powierzchni gruntu. Wysokość ta jest wielkością stałą i wynika ze stanu równowagi siły grawitacji pochodzącej od masy cząstek i sił powodujących unoszenie cząstek, wymienionych powyżej. Wskutek zaniku rozwarstwienia temperatury powietrza, niespełniającego warunku spadku o 1 stopień Celsjusza na 100 m wysokości, pyły koncentrują się w bezwietrznych warstwach atmosferycznej warstwy granicznej (ang. atmospheric boundary layer), na zróżnicowanych wysokościach wielokrotnie przekraczając dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń dla zdrowia i życia ludzkiego. Jeżeli podczas migracji pyłów, wskutek zmian w ukształtowaniu terenu, następuje obniżenie wysokości gruntu, to chmura cząstek dążąc do stanu równowagi obniża również swoje położenie. Przykładowo, w niecce krakowskiej (Bokwa A., Zanieczyszczenie powietrza D. Matuszko (red.) Klimat Krakowa w XX wieku, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, 2007, 187–199) pyły zawieszone w postaci chmury powietrza zawilgoconego i zanieczyszczonego rejestrowane są na wysokościach od kilkunastu do 200 m. Chmura ta w postaci warstwy smogu o stężeniach pyłów PM10, PM2.5, PM1, przekraczających dopuszczalne normy powstaje w przypadku bezwietrznego, chłodnego dnia. Szczególnie często zjawisko to powstaje w niecce, gdzie w przypadku zaniku ruchów konwekcyjnych mas powietrza następuje nagromadzenie pyłów pochodzących z niskiej emisji. Czas zalegania warstwy smogu z wysokimi stężeniami pyłów zależy (jest silnie skorelowany) od panujących warunków pogodowych i wynosi od kilku godzin do kilkunastu dni. Naturalne warunki powodujące skrócenia czasu zalegania tej warstwy to dzień wietrzny, dzień z opadami atmosferycznymi oraz ciepły dzień. Na czas zalegania warstwy smogu ma bezpośredni wpływ temperatura powietrza, prędkość wiatru oraz wilgotność powietrza. Zanik konwekcyjnego unoszenia pyłów powoduje, że stężenie pyłów w warstwach przygruntowych ciągle narasta, zdecydowanie pogarszając jakość powietrza. Sytuacja ta trwa do momentu, aż obszar inwersji temperaturowej zostanie rozproszony w sposób naturalny (opady atmosferyczne, silny wiatr z dowolnego kierunku lub wzrost temperatury powietrza).

Zatem każde działanie, które w okresie zalegania warstwy smogu ze stężeniami pyłów przekraczającymi dopuszczalne normy, przy braku naturalnych czynników rozpraszających, zmierza do zahamowania pogarszania się stanu powietrza, nawet doraźne i tymczasowe, jest cenne i pożądane.

Z literatury patentowej znane są rozwiązania mające na celu doraźne tymczasowe poprawienie jakości powietrza, przy stężeniu pyłów przekraczających dopuszczalne normy.

Znany jest ze zgłoszenia patentowego CN104689661 A sposób oczyszczania z pyłu zawieszonego z zamglonego powietrza miejskiego. Sposób obejmuje następujące etapy: umieszczenie ogromnej studni w miejscu o najniższej wysokości w strefie podmiejskiej, skuteczne przyciąganie zanieczyszczonego powietrza do studni, kolejno usuwanie pyłów i dezynfekcja powietrza. Technologia zakłada przepływ oczyszczonego powietrza powrotnie do miasta przez istniejącą sieć rur miejskich. Plan rozmieszczenia studni czerpiących powietrze układany jest zgodnie z planem dróg miejskich, wykorzystując obecne sieci instalacyjne. Powietrze po oczyszczeniu jest zawracane do miasta w celu rozcieńczenia pozostałych zanieczyszczeń w powietrzu. Sposób poprawia czystość powietrza i zmniejsza szkody związane z wpływem pyłu zawieszonego na zdrowie ludzkie. Jednakże stosowanie tego systemu w skali miejskiej wymaga sporych inwestycji. Istniejące w miastach niezagospodarowane sieci rurociągów, często rozłożone są w sposób chaotyczny. Wykorzystanie tych sieci do nowych celów wiąże się z rozbudową o liczne łączniki pomiędzy istniejącymi kanałami oraz rozległym planowaniem nowych kanałów. W warunkach gęstej zabudowy centrum miasta, takie działania mogą być wyjątkowo utrudnione. Dodatkowo niektóre nieużywane przez dłuższy czas instalacje mogą ulegać degradacji, co również musi się wiązać ze stosowną renowacją.

W zgłoszeniu EP2125156 A1 ujawniono sposób i urządzenie do usuwania drobnych cząstek stałych z powietrza w terenie zabudowanym o niewielkim zasięgu, do kilku metrów. Zanieczyszczone powietrze jest zasysane przez urządzenie z otoczenia, na wysokości do jednego metra. W pierwszej kolejności są wyłapywane za pomocą filtrów gruboziarniste cząstki. Następnie powietrze jest oczyszczane z drobnych frakcji pyłów o wielkości ziaren do $0,2 \mu\text{m}$. Możliwe jest zastosowanie filtrów z węglem aktywnym lub filtrów elektrostatycznych w celu wychwytywania pyłów i innych szkodliwych substancji. Zanieczyszczenia w postaci osadu trafiają do zbiorników z wodą, gdzie są utylizowane. W tym rozwiązaniu

zasięg oddziaływania jest bardzo niewielki, wymagana jest stosunkowo duża liczba urządzeń, które w warunkach wysokiego stężenia pyłu mogą wymagać ciągłej obsługi, a dodatkowo wymiany filtrów.

Znana jest z opisu patentowego JP3958622 B2 metoda wychwytywania pyłu zawieszonego pochodzącego z transportu drogowego, polegająca na rozmieszczeniu filtrów wzdłuż jezdni na ścianach np. ekranach akustycznych. Używane mogą być różnego rodzaju adsorbenty umieszczone korzystnie na wysokości około jednego metra, odpowiednio wyprofilowane względem jezdni, w celu skuteczniejszego wyłapywania pyłów, a także elektrofiltry. Możliwe jest również użycie urządzeń wbudowanych w ścianę, zapewniających usuwanie cząstek stałych. Rozwiązanie to dotyczy wyłącznie pyłu pochodzenia komunikacyjnego, nie jest komplementarne względem innych źródeł emisji.

Inny, znany z opisu patentowego CH689181A5 sposób usuwania pyłu zawieszonego z powietrza miejskiego, polega na zasysaniu zanieczyszczonego powietrza do miejskiego układu rurociągów kanalizacyjnych, gdzie pyły częściowo się wytrącają, a pozostała część pyłów zostaje odseparowana na filtrach ze zwrotnym wprowadzeniem czystego powietrza do atmosfery. Korzystnie zanieczyszczone powietrze jest czyszczone za pomocą wody. W przypadku stosowania tego rozwiązania w trybie ciągłym, koszty eksploatacji wydają się znaczne, a ponadto ciągła praca wentylatorów może być uciążliwa dla mieszkańców.

Znany jest ze zgłoszenia patentowego PL424785 A1 system do wymuszania ruchów mas powietrza nad otwartymi obszarami, zwłaszcza wzbudzania i podtrzymywania strugi powietrza nad otwartymi obszarami zurbanizowanymi, zawierający elementy wymuszające ruch powietrza posadowione na elementach wsporczych, który charakteryzuje się tym, że na co najmniej jednej linii wyznaczonej na przewietrzanym obszarze, ustawione są co najmniej dwa elementy wymuszające ruch powietrza w tym samym kierunku, posadowione na elementach wsporczych i są oddalone od siebie w odległości zawierającej się w przedziale od 29 H do 51 H, gdzie H to wysokość od poziomu podstawy elementu wsporczego do osi zamocowania elementu wymuszającego ruch powietrza. Elementy wymuszające ruch powietrza ustawione na tej samej linii generują, płynącą w tym samym kierunku, strugę powietrza o przepływie, co najmniej 4700 m³/s, zaś wysokość od poziomu podstawy elementów wsporczych do osi zamocowania elementu wymuszającego ruch powietrza zawiera się w zakresie od 40 m do 60 m.

Znany jest również ze zgłoszenia patentowego PL424786 A1 inny system do wymuszania ruchów mas powietrza nad otwartymi obszarami, zawierający elementy wymuszające ruch powietrza posadowione na elementach wsporczych, który charakteryzuje się tym, że na każdym, z co najmniej trzech promieni okręgu, wyznaczonego na przewietrzanym obszarze, oddalonych od siebie w równej odległości kątowej, ustawiony jest, co najmniej jeden element wymuszający ruch powietrza w kierunku środka okręgu, generujący strugę powietrza o przepływie, co najmniej 4700 m³/s, posadowiony na elemencie wsporczym. Wysokość od poziomu podstawy elementu wsporczego do osi zamocowania elementu wymuszającego ruch powietrza zawiera się w zakresie od 40 m do 60 m. W centrum okręgu, dla każdego z promieni, na którym ustawiono element wymuszający ruch powietrza w stronę środka okręgu, znajduje się centralny element wymuszający ruch powietrza ku górze, generujący strugę powietrza o przepływie, co najmniej 4700 m³/s, posadowiony na elemencie wsporczym, którego wysokość od poziomu podstawy do osi zamocowania centralnego elementu wymuszającego ruch powietrza zawiera się w zakresie od 40 m do 60 m.

Przytoczone rozwiązania zwiększają ruch powietrza w warstwie przyziemnej, oddziałując do wysokości około 70 metrów. Natomiast problem zalegających w przestrzeniach miejskich cząstek pyłu, wiąże się w dużej mierze z powstającym obszarem inwersji temperaturowej. Obszar ten, powoduje zanik naturalnych ruchów konwekcyjnych mas powietrza i zatrzymuje proces naturalnego unoszenia pyłów z warstwy przyziemnej. Wysokość obszaru inwersji temperaturowej jest zróżnicowana i zależy od usytuowania warstwy inwersji temperaturowej, która najczęściej usytuowana jest wyżej niż na wysokości 70 metrów, zwykle od 100 do 200 m.

Efektom stosowania rozwiązań przytoczonych w opisie stanu techniki jest mieszanie powietrza zamkniętego w obszarze inwersji temperaturowej, co może prowadzić do nieznaczного obniżenia stężeń, bez wpływu na przerwanie warstwy inwersji temperaturowej i likwidacji stanu stagnacji konwekcji temperaturowej charakteryzującej obszar. Dodatkowo, dla realizacji wynalazków ujawnionych w przytoczonym stanie techniki, niezbędna jest znaczna rozbudowa infrastruktury w postaci elementów wsporczych i wymuszających ruch powietrza. Wiąże się to ze znacznymi nakładami inwestycyjnymi oraz stanowi widoczną ingerencję w krajobraz.

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu obniżenia stężenia pyłów w warstwie smogu, stanowiącej warstwę inwersyjną, zalegającej w związku z warunkami pogodowymi oraz maksymalne skrócenie czasu panowania stagnacyjnych warunków uniemożliwiających naturalny proces rozpraszania

smogu. Celem jest także obniżenie stężenia pyłów zawieszonych w powietrzu zanieczyszczonym, szczególnie w sytuacjach nagłego wzrostu poziomu zanieczyszczenia pyłami, zwłaszcza w przestrzeniach wielkomiejskich oraz utrzymanie zanieczyszczenia powietrza, w warstwie przygruntowej do wysokości 100 m, na poziomie wymaganym przez rekomendowane wartości WHO oraz obowiązującą Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie, jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (CAFE).

Zgodnie z wynalazkiem istota sposobu obniżenia stężenia pyłów w warstwie smogu, stanowiącej warstwę inwersyjną, szczególnie w sytuacji, gdy nie działają czynniki sprzyjające naturalnemu obniżaniu stężenia pyłów w warstwie smogu, w realizacji którego wykorzystuje się mobilną stację pomiarową, wyposażoną w urządzenia do pomiaru temperatury powietrza, prędkości wiatru i stężenia pyłów oraz działa przeciwgradowego i odpowiednio zaprogramowanego komputera stanowiącego jednostkę centralną, polega na tym, że w oparciu o wykonywane pomiary ustala się i określa położenie warstwy inwersyjnej oraz jej parametry a następnie wykorzystując działa przeciwgradowe, doprowadza się do destrukcji struktury warstwy inwersyjnej. W pierwszej kolejności mierzy się *in situ*, za pomocą mobilnej stacji pomiarowej (MSP) temperaturę powietrza i prędkość wiatru oraz stężenie pyłów PM 10, PM 2,5 w przestrzeni, na drodze pomiarowej od 0 do wysokości, na której zidentyfikowana zostaje warstwa inwersyjna lub do 500 m. Pomiary dokonuje się w ustalonych punktach pomiarowych, oddalonych od siebie o 1 do 20 m, korzystnie oddalonych od siebie o 1 m, a wyniki przekazuje się, drogą radiową do jednostki centralnej, w której porównuje się je z danymi referencyjnymi oraz archiwizuje. Na podstawie dokonanych pomiarów określa się czy celowe jest stosowanie sposobu według wynalazku. Jeśli średnia prędkość wiatru, obliczona na podstawie uprzednio dokonanych pomiarów, jest większa od 0,8 m/sek. i/lub spadek temperatury na drodze każdego kolejnych 10 m wysokości jest większy niż 1,0°C to występują warunki do naturalnego rozpraszania smogu i niecelowe jest kontynuowanie sposobu według wynalazku. W takim przypadku przerywa się pomiar i sprowadza mobilną stację pomiarową na ziemię. Natomiast w przypadku, gdy prędkości wiatru jest mniejsza od 0,8 m/s i/lub spadek temperatury na drodze 10 m wysokości jest mniejszy niż 1,0°C, podnosi się mobilną stację pomiarową do następnego punktu pomiarowego i kontynuuje pomiary, uznając że warunki atmosferyczne uzasadniają celowość kontynuowania sposobu. Jeśli w trakcie realizacji pomiarów uzyska się, co najmniej, 5 kolejnych pomiarów, realizowanych w odstępach co 1 m, wykazujących stężenie pyłu PM 10 większe niż 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i/lub stężeniu pyłu PM 2,5 większe od 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz spadek temperatury na drodze 10 m wysokości, mniejszy niż 0,1°C, uznaje się zmierzony obszar za warstwę inwersyjną. Dolną granicą tej warstwy jest wysokość pomiaru, na której zmierzono przekroczenia dopuszczalnych wartości stężeń pyłów oraz niski gradient temperatury, charakteryzujący warstwę inwersyjną. W celu określenia górnej granicy warstwy inwersyjnej kontynuuje się pomiary, aż do uzyskania następnych co najmniej 5 kolejnych pomiarów realizowanych w odstępach co 1 m, wykazujących stężenie pyłu PM 10 mniejsze niż 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i/lub stężeniu pyłu PM 2,5 mniejsze od 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz spadek temperatury na drodze 10 m wysokości większy niż 0,1°C. Zmierzenie takich wartości wskazuje na wyjście z warstwy inwersyjnej. Górną granicą warstwy inwersyjnej jest ostatnią wysokość, na której pomiar wykazał warunki charakterystyczne dla warstwy inwersyjnej. Po określeniu parametrów warstwy inwersyjnej mobilną stację pomiarową sprowadza się na ziemię. Na podstawie parametrów lokalizujących warstwę inwersyjną, ustala się wielkość cyklu fal uderzeniowych. Długość pojedynczego cyklu wynosi, co najmniej 10 minut i składa się z minimum 60 eksplozji mieszanki wybuchowej. Minimalny zakres cyklu eksplozji jest określony dla warstwy inwersyjnej mającej dolną granicę na wysokości 70 m i grubości nieprzekraczającej 30 m. Przy granicy dolnej warstwy inwersyjnej położonej wyżej oraz przy większej grubości warstwy cykl fal uderzeniowych wydłuża się o 1 minutę na każde 10 m wyższego położenia dolnej granicy warstwy inwersyjnej oraz na każde 10 m większej grubości warstwy inwersyjnej.

Wytwarzanie fali uderzeniowej rozpoczyna się od wprowadzenia, pod ciśnieniem do komory detonacyjnego generatora fali uderzeniowej, mieszanki gazów palnych i powietrza a następnie wywołuje się jej eksplozję. Strumień gazów wylotowych kieruje się, do zakończonego dyszą, o kącie wierzchołkowym stożka dyszy od 8° do 12°, przewodu wylotowego ustawionego prostopadle do podłoża. Ciśnienie detonacji mieszanki gazów palnych jest nie mniejsze niż 1 MPa. Napędzanie komory detonacyjnej generatora fali uderzeniowej prowadzi się w sposób ciągły a przerwa pomiędzy inicjowaniem kolejnych eksplozji jest nie dłuższa niż 10 sek. Po zakończeniu cyklu generacji fal uderzeniowych prowadzi się, pomiar stężenia pyłów w odległości 10 do 20 m od osi strzału, za pomocą mobilnej stacji pomiarowej, na takiej samej drodze, na jakiej wykonywano pomiary przed cyklem generacji fal uderzeniowych. W celu sprawdzenia efektów wykonanego cyklu generowanych fal uderzeniowych oblicza się średnią

arytmetyczną z pomiarów stężeń dokonanych od 0 m do poziomu górnej warstwy inwersyjnej, przed cyklem generacji fal uderzeniowych i odejmuje się obliczoną średnią arytmetyczną z pomiarów stężeń dokonanych po cyklu generacji fal uderzeniowych. W przypadku, kiedy obliczona różnica z średnich arytmetycznych pomiarów stężeń jest $\geq 15\%$, wstrzymuje się realizację sposobu co najmniej na okres 1–4 godzin, a jeżeli jest mniejsza od 15%, to niezwłocznie powtarza się cykl generacji fal uderzeniowych.

Natomiast w przypadku stwierdzenia, w wyniku zrealizowanych pomiarów, obniżenia średniej wartości stężenia pyłu PM 10 poniżej $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i średniej wartości stężenia pyłu PM 2,5 poniżej $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kończy się procedurę obniżania stężenia pyłów w warstwie smogu.

Dla zwiększenia skuteczności sposobu obniżenia stężenia pyłów w warstwie inwersyjnej, skrócenia czasu jej rozpraszania, szczególnie w przypadku wystąpienia stężenia pyłów na poziomie krytycznym, kilkukrotnie przekraczającym normy WHO, uruchamia się grupę generatorów fal uderzeniowych działających równocześnie. W przypadku użycia większej ilości generatorów niż jeden, generatory rozmieszcza się na okręgu a odległość pomiędzy poszczególnymi generatorami wynosi $2R$, gdzie R stanowi promień podstawy odwróconego stożka, którego kształt przybiera fala uderzeniowa, na poziomie jej zetknięcia się z dolną granicą warstwy inwersyjnej, występującej na wysokości 100 m. Zwiększenie skuteczności uzyskuje się również poprzez odpowiednie odchylenie generatorów od pionu. Dla zwiększenia skuteczności działania generatorów fali uderzeniowej ustawia się ich przewody wylotowe w pozycji odchylonej od pionu pod kątem, nie większym niż 30° , licząc od pionu. W przypadku, gdy dolna granica warstwy inwersyjnej znajduje się na wysokości od 50 m do 100 m, korzystnie stosuje się dyszę o kącie wierzchołkowym stożka 12° . Natomiast, gdy dolna granica warstwy inwersyjnej znajduje się na wysokości od 100 m do 150 m stosuje się dyszę o kącie wierzchołkowym stożka 10° , zaś kiedy dolna granica warstwy inwersyjnej znajduje się na wysokości 150 m najlepiej gdy stosuje się dyszę o kącie wierzchołkowym stożka 8° .

W sposobie, według wynalazku, wykorzystuje się do przeprowadzania pomiarów mobilną stację pomiarową stanowiącą aparat latający, korzystnie typu dron, wyposażony w odpowiednie urządzenia pomiarowe oraz urządzenia łączności bezprzewodowej, programowany i sterowany przez jednostkę centralną za pośrednictwem łączności bezprzewodowej.

Zaletą sposobu według wynalazku jest to, że umożliwia on zmianę stanu stagnacyjnych warunków uniemożliwiających naturalny proces rozpraszania smogu. Przeprowadzona według wynalazku destrukcja struktury warstwy inwersyjnej skraca czas trwania niekorzystnych warunków braku zjawiska konwekcji termicznej i przywraca warunki dla naturalnego procesu rozpraszania smogu. Sposób według wynalazku nie wymaga istotnych inwestycji w infrastrukturę. Jest prosty i tani w realizacji. Urządzenia niezbędne do realizacji sposobu są łatwe w demontażu i mogą być przemieszczane w dowolne miejsce. Likwiduje stan biernego oczekiwania na zmianę warunków atmosferycznych, które zmniejszą stan zapylenia w obszarze utworzonym pod warstwą inwersyjną. Zastosowanie elementów sposobu według wynalazku pozwala na obniżenie stężenia pyłów zawieszonych w powietrzu zanieczyszczonym, szczególnie w sytuacjach nagłego wzrostu poziomu zanieczyszczenia pyłami, zwłaszcza w przestrzeniach wielkomiejskich oraz utrzymanie zanieczyszczenia powietrza, na poziomie uznawanym, jako mało szkodliwy dla zdrowia ludzi.

Przedmiot wynalazku objaśnia bliżej przykład realizacji sposobu obniżenia stężenia pyłów w warstwie inwersyjnej, którego elementy uwidocznione są na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia algorytm operacji i czynności realizowanych w sposobie według wynalazku, fig. 2 przedstawia, w uproszczonej formie, sytuację w której realizowany jest sposób według wynalazku, fig. 3 przedstawia, w uproszczonej formie, efekt przeniknięcia fali uderzeniowej pierwszej eksplozji w warstwie inwersyjnej, fig. 4 przedstawia schemat rozmieszczenia grup generatorów o ilości $N > 2$ natomiast fig. 5 przedstawia wykres profilu temperatury powietrza od wysokości, zaś fig. 6 przedstawia wykres pomiarów stężenia PM 10 przed i po cyklu strzelań.

W przykładowej realizacji sposobu obniżenia stężenia pyłów w warstwie smogu, stanowiącej warstwę inwersyjną zastosowane zostało działo przed wg radowe firmy Inopower, zasilane acetylenem, o nadciśnieniu 6 bar. Komora detonacji tego działa ma objętość $0,67 \text{ m}^3$. Strumień gazów wylotowych stanowiących falę uderzeniową kierowany jest w dziale przeciwwgradowym firmy Inopower, do przewodu wylotowego o długości 3 m, zakończonego dyszą o kącie wierzchołkowym stożka 12° . Działo zostało ustawione pionowo (kąt 0° liczony od pionu), ciśnienie detonacji wynosiło 1 MPa.

Dla wykonania pomiarów użyto drona marki Yuneec Typhoon H520 wyposażonego w wysokościomierz, zintegrowany czujnik do pomiaru temperatury o zakresie $-20^\circ\text{C} - +50^\circ\text{C}$, wilgotności o zakresie 20% – 95% RH, ciśnienia o zakresie 800 mbar – 1150 mbar, czujnik FT205 do pomiaru prędkości

i kierunku wiatru o zakresie od 0 do 75 m/sek. oraz dwa urządzenia czujniki do mierzenia stężenia pyłu o wielkości PM 10 i PM 2,5 typu Atmon FL o zakresie pomiarowym 0–999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i rozdzielczości 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz urządzenie nadawcze do przekazywania wyników pomiaru drogą radiową.

Sposób obniżenia stężenia pyłów w warstwie smogu stanowiącą warstwę inwersyjną wykonany został w dniu 25.11.2019 r. w kolejnym dniu wzrostu stężenia pyłów w warstwie przygrunтовой i w warunkach stagnacyjnych uniemożliwiających naturalny proces rozpraszania smogu.

Pierwszy etap polegający na określeniu parametrów warstwy inwersyjnej, w oparciu o wyniki pomiarów przeprowadzonych za pomocą mobilnej stacji pomiarowej Wyniki pomiarów i wyliczeń przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów warstwy inwersyjnej

Wysokość (m)	PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Spadek temperatury ($^{\circ}\text{C}/10\text{m}$)	Średnia prędkość wiatru (km/h)	Uwagi
0	32	79			
1	32	70			
2	32	79			
3	32	70			
4	32	70			
5	33	61			
6	33	62	0.51	0.25	
7	38	63			
8	37	63			
9	37	61			
10	37	79			
11	38	76			
12	32	70			
13	32	70			
14	32	71			
15	32	67			
16	30	67	0.56	0.29	
17	30	67			
18	40	67			
19	40	66			
20	40	88			
21	47	64			
22	47	63			
23	48	83			
24	46	62			
25	44	60			
26	43	57	0.264	0.32	
27	44	57			
28	44	58			
29	45	57			
30	45	57			
31	45	57			
32	45	50			
33	42	58			
34	44	57			
35	42	50	0.406	0.36	
36	42	60			
37	43	60			
38	42	60			
39	41	59			
40	40	60			
41	30	55			
42	30	51			
43	36	49			
44	38	40			
45	35	40	0.220	0.41	
46	35	40			
47	35	40			
48	34	46			
49	33	44			
50	32	43			

51	53	44			Dolna granica warstwy inwersyjnej
52	32	41			
53	32	41			
54	20	37	0.039	0.44	
55	20	38			
56	20	38			
57	27	38			
58	26	37			
59	27	38			
60	27	38			
61	27	37			
62	27	37			
63	20	37			
64	20	30			
65	20	30	0.065	0.49	
66	20	30			
67	30	40			
68	31	41			
69	31	40			
70	31	42			
71	32	45			
72	33	40			
73	35	50			
74	35	51			
75	36	52			
76	38	54	0.080	0.50	
77	36	54			
78	36	55			
79	38	55			
80	36	55			
81	35	54			
82	36	55			
83	35	55			
84	35	55			
85	36	55	0.092	0.59	
86	35	54			
87	34	52			
88	33	40			
89	33	47			
90	31	45			
91	31	45			
92	30	43			
93	20	42			
94	20	41			
95	27	41			
96	23	30	0.173	0.65	Górna granica warstwy inwersyjnej
97	24	38			
98	24	34			
99	24	34			
100	23	35			
101	23	35			
102	23	34			
103	24	34			

Punkty pomiarowe oddalone były o 1 m wzdłuż wysokości, na drodze pionowego wznoszenia się MSP. Zmierzono profil zmian temperatury, prędkości wiatru oraz stężeń PM 2,5 i PM 10 wzdłuż wysokości od 0 do 103 m. Zidentyfikowano i wyznaczono zakres zalegania warstwy inwersyjnej. Pomiaru rozpoczęto od wysokości 0 m. Fig. 5 przedstawia wykres zmian temperatury wraz z wysokością, a Fig. 6 przedstawia wykres pomiarów stężenia PM 10 wzdłuż wysokości. Jak wynika z pomiarów przedstawionych w Tabeli 1, od 0 do 50 m spadek temperatury na każde 10 m był większy niż $0,1^{\circ}\text{C}$ a mniejszy od 1°C . Średnia prędkość wiatru na drodze 10 m była mniejsza od 0,8 m/s. Kontynuowano podnoszenie mobilnej stacji pomiarowej. Od wysokości 50 do 60 m zaobserwowano spadek temperatury o $0,039^{\circ}\text{C}$ oraz stężenie PM 2.5 większe od stężenia granicznego $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla 5 kolejnych pomiarów uzyskanych dla wysokościach 50–54 m, co informowało o wystąpieniu dolnej granicy warstwy inwersyjnej, której podstawa została przyjęta na wysokości 50 m. Spadek temperatury poniżej $0,1^{\circ}\text{C}$ na drodze 10 m obserwowano aż do wysokości 90 m. Następnie podniesiono mobilną stację pomiarową na kolejne wysokości pomiarowe na drodze 10 m. Pomiędzy 90 a 100 m temperatura spadła o kolejne $0,173^{\circ}\text{C}$, natomiast stężenie pyłów PM 2.5 i PM 10 dla 5 kolejnych pomiarów uzyskanych dla wysokości 97–101 m przyjmowały wartości poniżej wartości granicznych odpowiednio $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ i $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Średnia prędkość wiatru nie przekraczała 0,8 m/s. Wysokość 96 m przyjęto za górną granicę warstwy inwersyjnej. W tabeli 1 przedstawiono wszystkie wielkości pomiarów warstwy inwersyjnej. Następnie wyznaczono wartość średnią stężenia pyłu PM 2,5 i PM 10 w warstwie od 0 do górnej granicy warstwy inwersyjnej tj. 96 m. Wyznaczona wartość średnia wynosiła odpowiednio $38\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz $62\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sprowadzono mobilną stację pomiarową na ziemię oraz na podstawie pomiarów warstwy inwersyjnej ustalono wielkość cyklu fal uderzeniowych na 11 minut, składający się z 110 eksplozji. Zastosowano dyszę generatora fali uderzeniowej o kącie wierzchołkowym stożka dyszy równym 12° .

Po wykonaniu cyklu fal uderzeniowych działkiem przeciwgradowym przeprowadzono kontrolny pomiar stężenia pyłów w odległości 10 m od osi strzału, przeprowadzając pomiar od 0 do wysokości warstwy inwersyjnej (96 m), punkty pomiarowe były oddalone od siebie o 1 m. Dla wykonanego pomiaru wartość średnia stężenia pyłu PM2.5 wyniosła $32\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, co oznacza spadek o 15,8%, a PM 10 wynosiła $49,9\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ co oznacza spadek o 19,5%. Nie stwierdzono obniżenia wartości średniego stężenia pyłów PM2.5 i PM10 od 0 do 100 m poniżej wartości odpowiednio $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ i $40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Następnie w wyniku stwierdzenia różnicy z średniej arytmetycznej pomiarów stężeń przed i po cyklu generacji fal uderzeniowych większej od 15% sprowadzono mobilną stację pomiarową na ziemię i wstrzymano na czas 3 h procedurę obniżania stężenia pyłów.

Wynalazek, może znaleźć zastosowanie na obszarach mocno zurbanizowanych o dużej niskiej emisji, gdzie istnieją naturalne warunki do zalegania smogu w wyniku utworzenia warstwy inwersyjnej (kotliny, doliny rzek). Smog zalegający w wyniku utworzenia warstwy inwersyjnej, w sytuacji gdy nie ma warunków do naturalnego procesu rozpraszania smogu, tworzy warunki groźne dla zdrowia i życia ludzi. Wynalazek umożliwia zmianę stanu warunków stagnacyjnych uniemożliwiających naturalny proces rozpraszania smogu, przyczyniając się do doraźnej poprawy stanu powietrza na obszarach zagrożonych zaleganiem smogu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób obniżenia stężenia pyłów w warstwie smogu, stanowiącej warstwę inwersyjną, zalegającą nad terenem o wzmożonej emisji pyłów i umożliwiającą tworzenie obszaru inwersji termicznej, przy wykorzystaniu mobilnej stacji pomiarowej, wyposażonej w urządzenia dla pomiaru temperatury powietrza, prędkości wiatru i stężenia pyłów oraz działu przeciwgradowego i odpowiednio zaprogramowanego komputera stanowiącego jednostkę centralną **znamienny tym, że**
 - mierzy się *in situ*, za pomocą mobilnej stacji pomiarowej temperaturę powietrza i prędkość wiatru oraz stężenie pyłów, co najmniej PM 2,5 i PM 10 w przestrzeni, na drodze pomiarowej od 0 do wysokości, na której zidentyfikowana zostaje warstwa inwersyjna lub do 500 m,
 - pomiary dokonuje się w ustalonych punktach pomiarowych, oddalonych od siebie o 1 do 20 m, korzystnie oddalonych od siebie o 1 m, a wyniki przekazuje się drogą radiową do jednostki centralnej, w której porównuje się je z danymi referencyjnymi oraz archiwizuje,
 - dokonuje się oceny warunków do realizacji sposobu, co 10 m i w przypadku, gdy średnia prędkość wiatru, obliczona na podstawie 10 ostatnich pomiarów, jest większa od 0,8 m/s i/lub

- spadek temperatury na drodze 10 m wysokości jest większy niż $1,0^{\circ}\text{C}$, przerywa się pomiar i sprowadza mobilną stację pomiarową na ziemię,
- w przypadku, gdy prędkości wiatru jest mniejsza od $0,8\text{ m/s}$ i/lub spadek temperatury na drodze 10 m wysokości jest mniejszy niż $1,0^{\circ}\text{C}$, podnosi się mobilną stację pomiarową do następnego punktu pomiarowego i kontynuuje pomiary.
 - w przypadku uzyskania, co najmniej 5 kolejnych pomiarów, realizowanych w odstępach co 1 m, wykazujących stężenie pyłu PM 10 większe niż $50\text{ }\mu\text{g/m}^3$ i/lub stężeniu pyłu PM 2,5 większe od $25\text{ }\mu\text{g/m}^3$ oraz spadek temperatury na drodze 10 m wysokości mniejszy niż $0,1^{\circ}\text{C}$, uznaje się zmierzony obszar za warstwę inwersyjną, o dolnej granicy równej pierwszej wysokości pomiaru z przekroczonymi wartościami stężeń pyłów oraz niskim gradiencie temperatury,
 - pomiary kontynuuje się, aż do uzyskania następnych co najmniej 5 kolejnych pomiarów realizowanych w odstępach co 1 m, wykazujących stężenie pyłu PM 10 mniejsze niż $50\text{ }\mu\text{g/m}^3$ i/lub stężeniu pyłu PM 2,5 mniejsze od $25\text{ }\mu\text{g/m}^3$ oraz spadek temperatury na drodze 10 m wysokości większy niż $0,1^{\circ}\text{C}$, co wskazuje na wyjście z warstwy inwersyjnej a górną granicą warstwy inwersyjnej jest ostatnią wysokość, na której pomiar wykazał warunki charakterystyczne dla warstwy inwersyjnej,
 - po określeniu parametrów warstwy inwersyjnej mobilną stację pomiarową sprowadza się na ziemię,
 - na podstawie parametrów lokalizujących warstwę inwersyjną, ustala się wielkość cyklu fali uderzeniowych, przy czym długość pojedynczego cyklu wynosi, co najmniej 10 minut, składa się z minimum 60 eksplozji mieszanki wybuchowej i jest ustalony dla warstwy inwersyjnej, mającej dolną granicę na wysokości 70 m i grubości nieprzekraczającej 30 m oraz jest wydłużany o 1 minutę na każde 10 m wyższego położenia dolnej granicy warstwy inwersyjnej oraz na każde 10 większej grubości warstwy inwersyjnej,
 - do komory detonacyjnej generatora fali uderzeniowej wprowadza się pod ciśnieniem mieszankę gazów palnych i powietrza a następnie wywołuje się jej eksplozję, zaś strumień gazów wylotowych kieruje się, do zakończonego dyszą, o kącie wierzchołkowym stożka dyszy od 8° do 12° , przewodu wylotowego, ustawionego prostopadle do podłoża, przy czym ciśnienie detonacji mieszanki gazów palnych jest nie mniejsze niż 1 MPa,
 - napełnianie komory detonacyjnej generatora fali uderzeniowej prowadzi się w sposób ciągły a przerwa pomiędzy inicjowaniem kolejnych eksplozji jest $\leq 10\text{ sek.}$,
 - po każdym cyklu generacji fal uderzeniowych prowadzi się pomiar stężenia pyłów w odległości 10 do 20 m od osi strzału, za pomocą mobilnej stacji pomiarowej na takiej samej drodze, na jakiej wykonywano pomiary przed cyklem generacji fal uderzeniowych,
 - oblicza się średnią arytmetyczną z pomiarów stężeń dokonanych od 0 m do poziomu górnej warstwy inwersyjnej, przed cyklem generacji fal uderzeniowych i odejmuje się obliczoną średnią arytmetyczną z pomiarów stężeń dokonanych po cyklu generacji fal uderzeniowych,
 - w przypadku, kiedy obliczona różnica z średnich arytmetycznych pomiarów stężeń jest $\geq 15\%$, wstrzymuje się realizację sposobu co najmniej na okres 1–4 godzin, a jeżeli jest mniejsza od 15%, to niezwłocznie powtarza się cykl generacji fal uderzeniowych,
 - w przypadku stwierdzenia, w wyniku zrealizowanych pomiarów, obniżenia średniej wartości stężenia pyłu PM 10 poniżej $40\text{ }\mu\text{g/m}^3$ i średniej wartości stężenia pyłu PM_{2,5} poniżej $20\text{ }\mu\text{g/m}^3$, kończy się procedurę obniżania stężenia pyłów w warstwie smogu.
2. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że w przypadku wystąpienia stężenia pyłów w warstwie inwersyjnej, na poziomie krytycznym, uruchamia się grupę generatorów fal uderzeniowych działających równocześnie.
 3. Sposób według zastrz. 1 i 2 **znamienny tym**, że przy większej liczbie generatorów niż jeden, generatory rozmieszcza się na okręgu a odległość pomiędzy poszczególnymi generatorami wynosi od R do 3R, korzystnie 2R, gdzie R stanowi promień podstawy odwróconego stożka, którego kształt przybiera fala uderzeniowa, na poziomie jej zetknięcia się z dolną granicą warstwy inwersyjnej, występującej na wysokości 100 m.
 4. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że przewody wylotowe generatorów fali uderzeniowej ustawia się w pozycji odchylonej od pionu pod kątem nie większym niż 30° licząc od pionu.
 5. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że dla warstwy inwersyjnej mającej dolną granicę na wysokości od 50 m do 100 m stosuje się dyszę o kącie wierzchołkowym stożka 12° .

6. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że dla warstwy inwersyjnej mającej dolną granicę na wysokości od 100 m do 150 m stosuje się dyszę o kącie wierzchołkowym stożka 10° .
7. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że dla warstwy inwersyjnej mającej dolną granicę na wysokości od 150 m stosuje się dyszę o kącie wierzchołkowym stożka 8° .
8. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że mobilną stację pomiarową stanowi aparat latający, korzystnie typu dron, wyposażony w odpowiednie urządzenia pomiarowe oraz urządzenia łączności bezprzewodowej, programowany i sterowany przez jednostkę centralną za pośrednictwem łączności bezprzewodowej.

Wykaz oznaczeń;

- 1 – Poziom gruntu
- 2 – warstwa smogu
- 3 – warstwa inwersyjna
- 4 – mobilna stacja pomiarowa (MSP) – dron
- 5 – działo przeciwgradowe
- 6 – droga pomiarowa MSP
- h1 – najmniejsza odległość warstwy inwersyjnej od poziomego gruntu
- h2 – największa odległość warstwy inwersyjnej od poziomego gruntu
- R – promień podstawy odwróconego stożka fali uderzeniowej, na, wysokości 100 m.

Rysunki

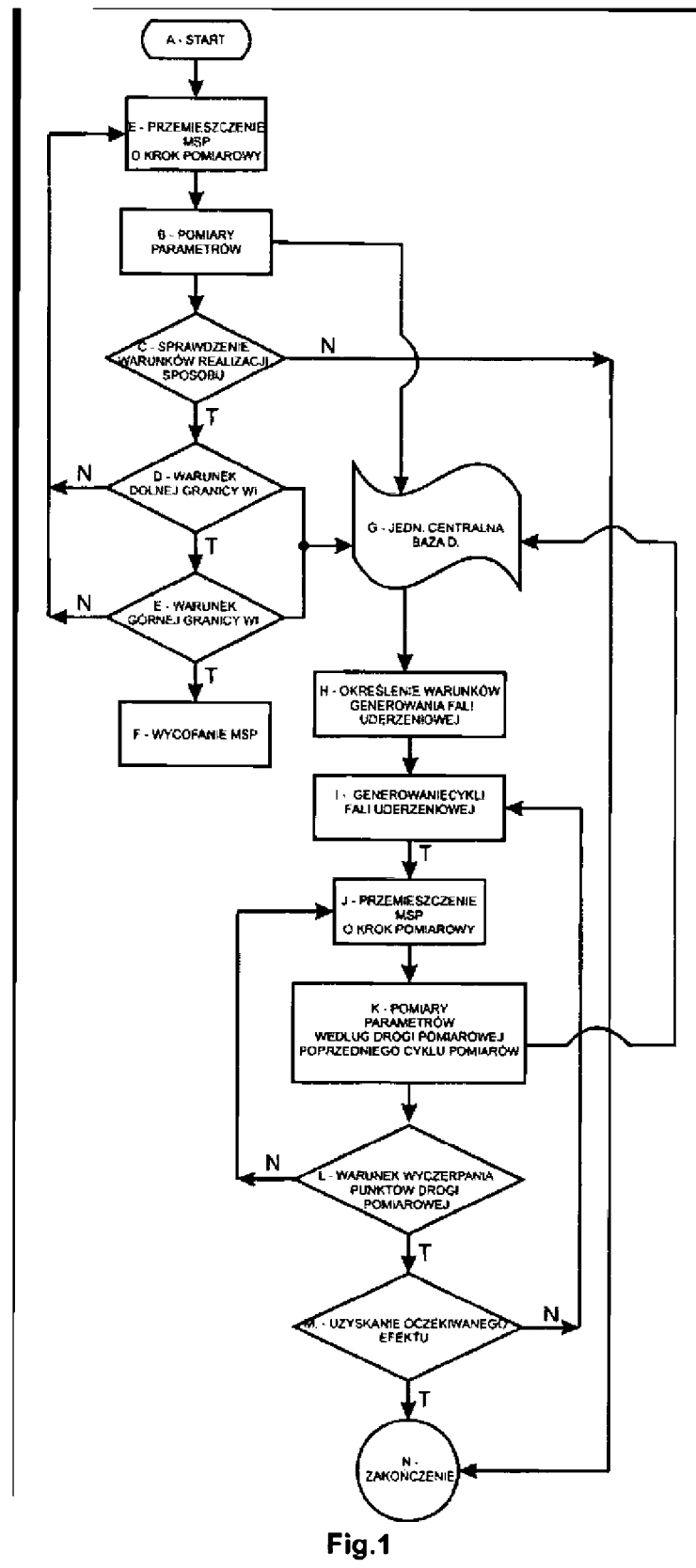


Fig.1

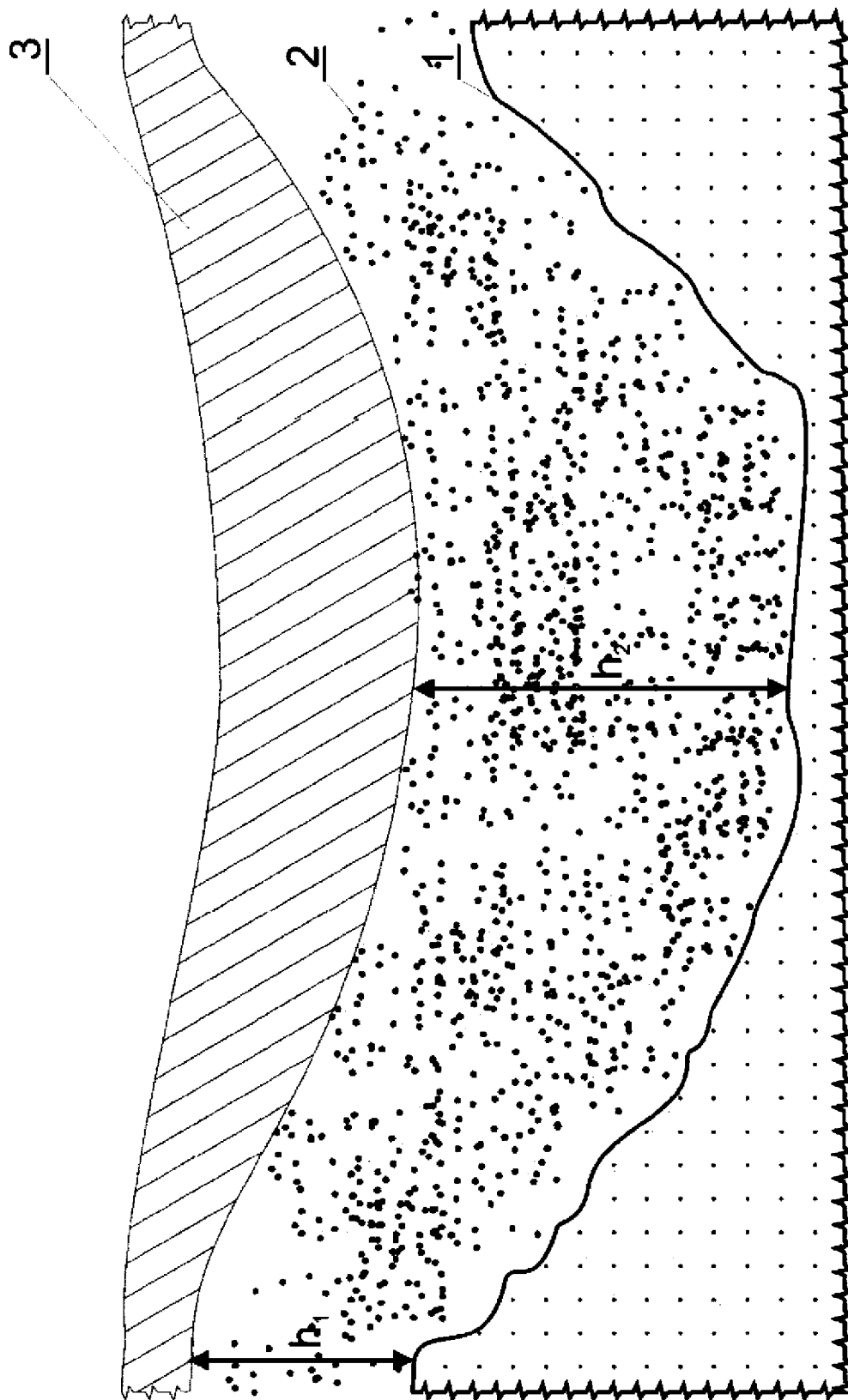


Fig. 2

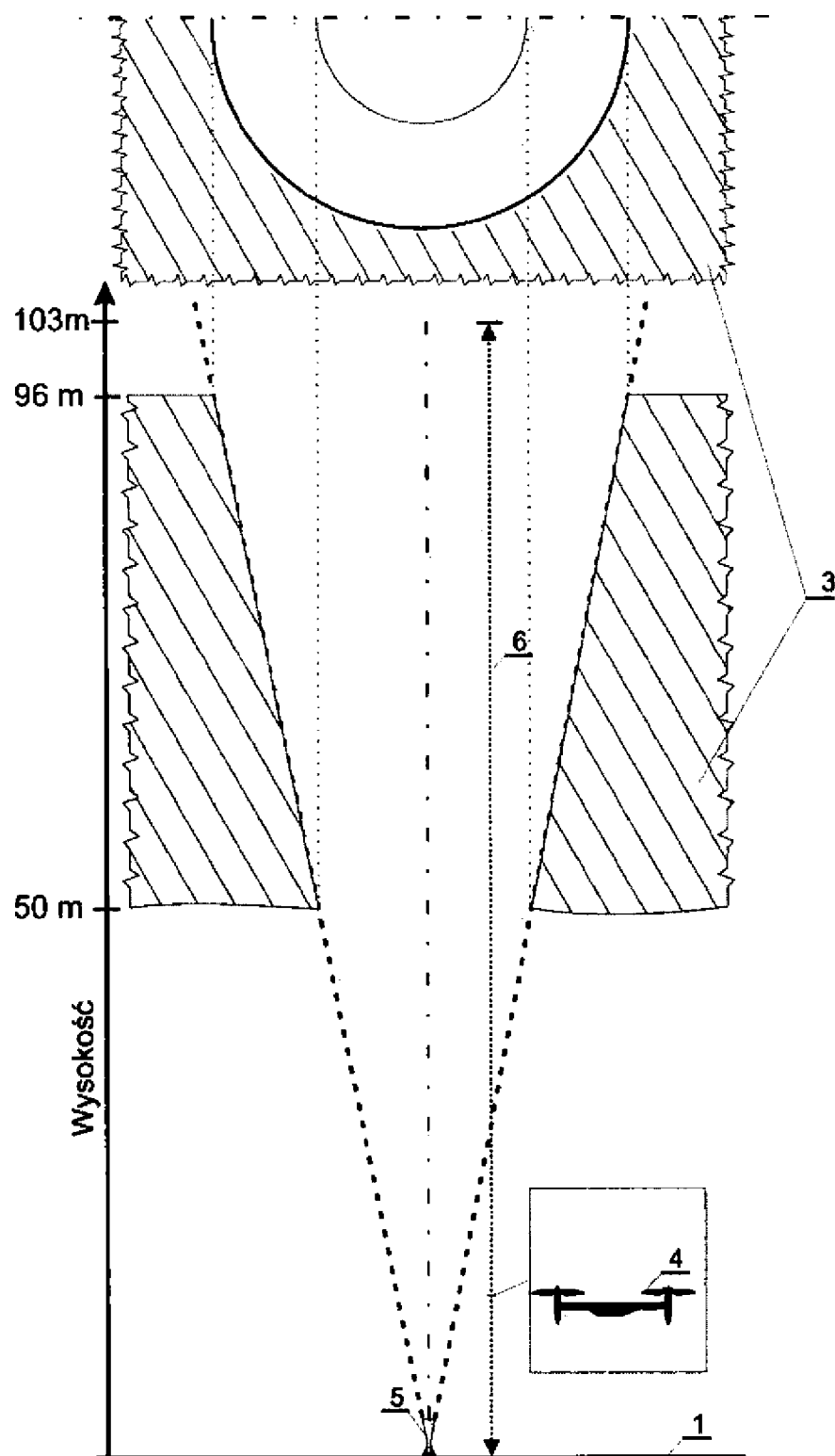


Fig. 3

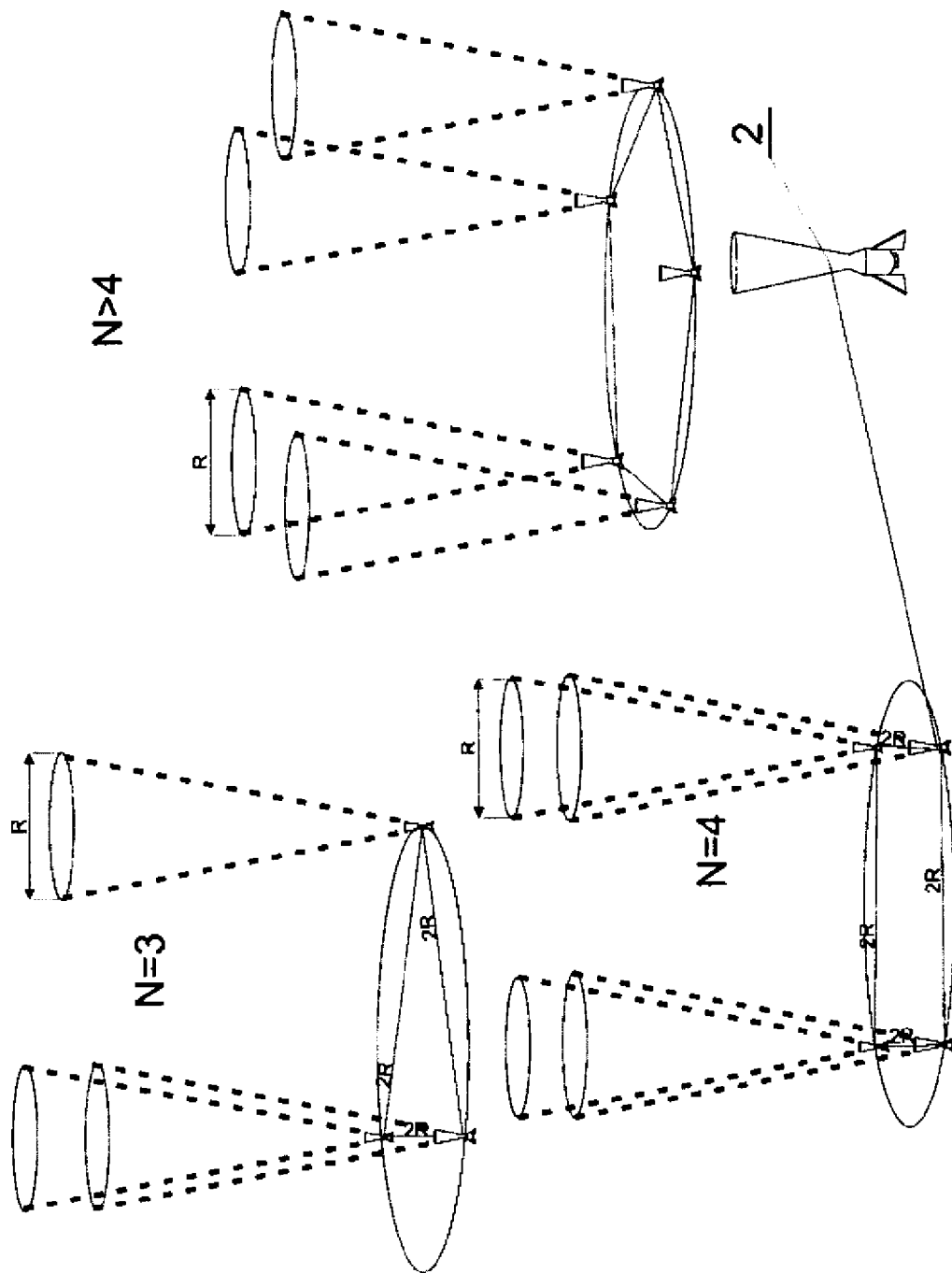


Fig.4

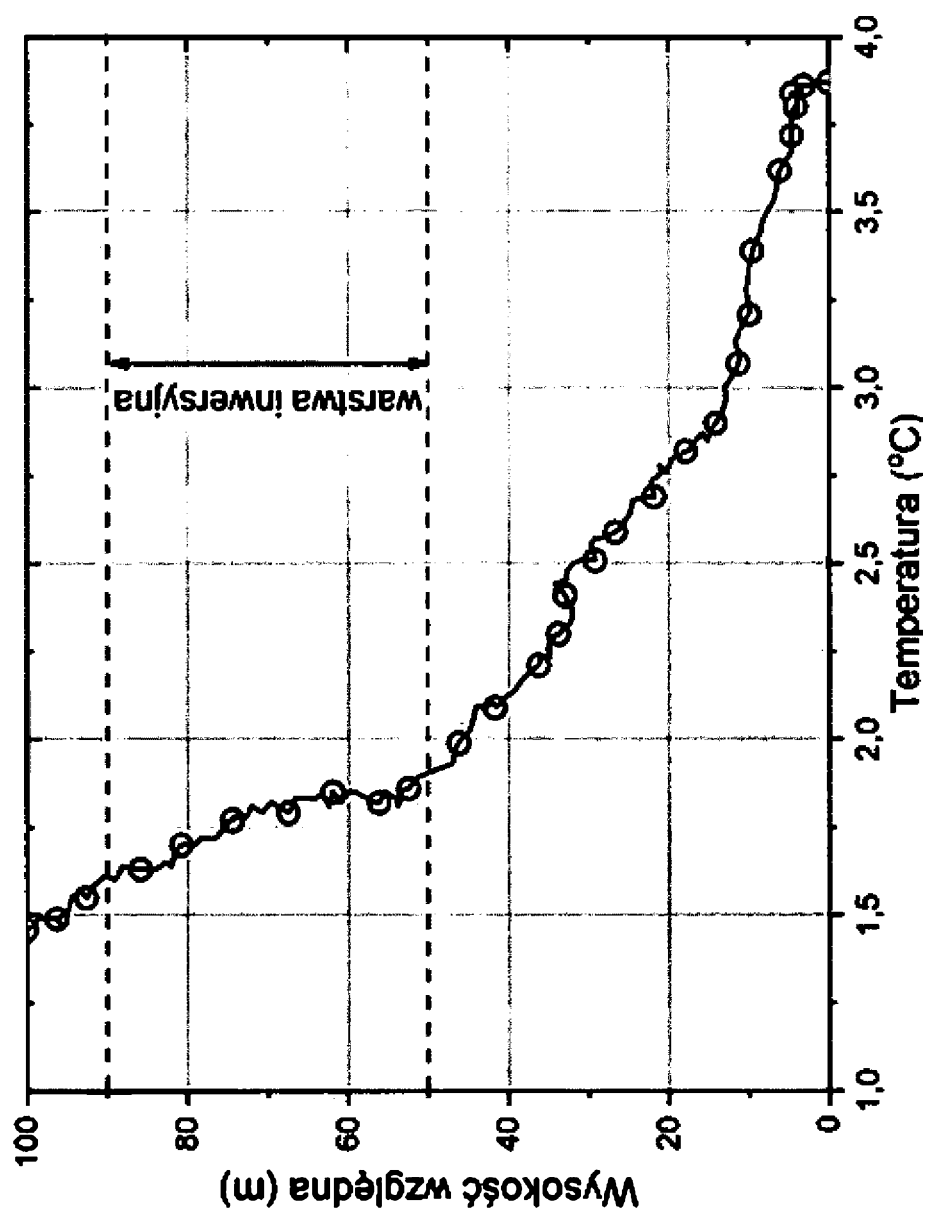


Fig.5

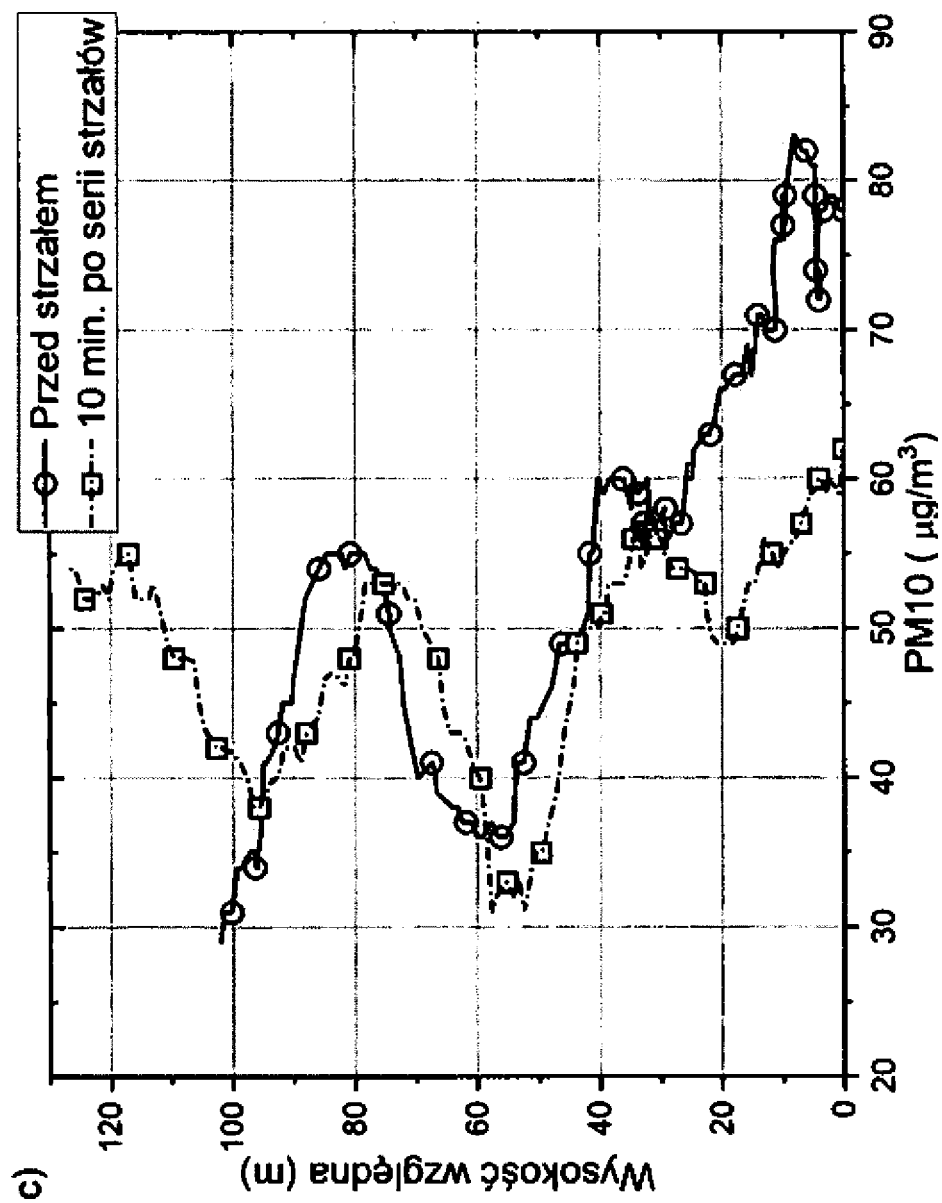


Fig.6