

TOMASZ GACZOŁ\*

## WENTYLACJA NATURALNA SYSTEMY NAWIEWU – WYBRANE PRZYKŁADY

### NATURAL VENTILATION INLET SYSTEMS – CHOSEN SAMPLES

#### Streszczenie

Wentylacja naturalna od kilkunastu lat sprawia duże problemy projektowe i wykonawcze. Przepływ powietrza w budynku nie zależy tylko od zaprojektowania właściwej liczby przewodów wentylacyjnych, ale przede wszystkim od doboru odpowiedniego pola przekroju tych przewodów w stosunku do ich wysokości. Najistotniejszym elementem prawidłowo funkcjonującego systemu wentylacji naturalnej jest rozmieszczenie nawiewów powietrza o odpowiedniej wydajności oraz dobór wymaganej wymiany powietrza, która zależy od przewidywanej liczby osób stale przebywających w projektowanym pomieszczeniu oraz od jego przeznaczenia. Brak konieczności opracowania branżowego projektu wentylacji naturalnej podczas sporządzania typowego projektu budowlanego w dużym stopniu doprowadza do bagatelizowania tego zagadnienia w obliczu wymagań prawa budowlanego.

*Słowa kluczowe: wentylacja grawitacyjna, wentylacja naturalna, wentylacja hybrydowa*

#### Abstract

Natural ventilation, commonly associated with gravitational, since over ten years has cause quite a lot of design and executive problems. The flow of air in building does not depend only on number of ventilation pipes but also appropriate pipe's cross section due to their height. The most crucial element of proper functional natural ventilation system is its placement with appropriate efficiency and selection of required air exchange which depend on both, number of expected human beings that constantly stay in designed room and on its destination. Unnecessary study of natural ventilation trade project, during drawing up of typical projected building, to a large extent lead to belittle of that problem in the face of building law act requirement.

*Keywords: gravity ventilation, natural ventilation, hybrid ventilation*

\*Dr inż. arch. Tomasz Gaczoł, Instytut Projektowania Budowlanego, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Główną przyczyną problemów związanych z niepoprawnym działaniem systemów wentylacji naturalnej jest całkowity brak lub też niedostatecznie rozwiązany sposób nawiewu powietrza do pomieszczeń wewnętrznych. Stosowanie przez projektantów stolarki okiennej i drzwiowej o odpowiednim, normowym współczynniku infiltracji jest niedostatecznym rozwiązaniem. Na podstawie przeprowadzonych przez dra Jerzego Sowę badań wynika, że: „W przykładowym pomieszczeniu o pow.  $15,4 \text{ m}^2$  i kubaturze  $40 \text{ m}^3$ , przy najczęściej występujących różnicach ciśnienia, typowe okna o współczynniku  $a = 0,5 \text{ m}^3/(\text{mhdaPa}^{2/3})$  powinny mieć szczeliny doprowadzające powietrze długości  $65\text{--}90 \text{ m}$ , a przy współczynniku  $a = 1 \text{ m}^3/(\text{mhdaPa}^{2/3})$  długość szczelin powinna wynosić  $30\text{--}45 \text{ m}$ , aby mogły doprowadzić  $20 \text{ m}^3$  powietrza na osobę w ciągu godziny. Tymczasem w typowym oknie szczeliny, przez które ma infiltrować powietrze, mają długość nie większą niż ok.  $9 \text{ m}$ ...” [1].

Coraz bardziej popularne nawiewniki higrosterowane są przystosowane do zapewnienia napływu powietrza tylko wtedy, gdy wzrasta wilgotność powietrza. Przy stałe utrzymującym się niskim poziomie wilgotności wewnątrz pomieszczeń (do 35%) nawiewniki te są prawie zamknięte. Od 35% do 70% są one częściowo otwarte (proporcjonalnie do wilgotności powietrza), a powyżej 70% całkowicie otwarte. W związku z tym działają okresowo i mogą być stosowane jako elementy wspomagające systemy naturalnej wentylacji, głównie w pomieszczeniach o dużych wahaniami wilgotności powietrza. Pozostałe rodzaje nawiewników to: nawiewniki sterowane mechanicznie, regulowane przez użytkowników pomieszczeń oraz nawiewniki sterowane przez różnicę ciśnień panującą pomiędzy ciśnieniem w pomieszczeniu a ciśnieniem zewnętrznym. Te ostatnie przystosowane są do działania w budynkach wyposażonych w mechaniczną wentylację wywiewną, ponieważ przepływ strumienia powietrza następuje przy różnicy ciśnienia przekraczającej  $20 \text{ Pa}$ . W sezonie grzewczym średnia wartość różnicy ciśnienia zewnętrznego i ciśnienia w pomieszczeniach budynku wyposażonego w system wentylacji grawitacyjnej wynosi około  $4 \text{ Pa}$ . Ta różnica nie pozwala na samoczynne otwieranie się mechanizmu nawiewnika oraz napływ prawidłowego strumienia powietrza [2].

## 2. Rozwiązania projektowe

### 2.1. Ciśnieniowy oraz grawitacyjny system nawiewu powietrza

Na podstawie przeprowadzonych przez ITB badań została przyjęta wartość przepływu nawiewnika, która charakteryzuje jego nominalny przepływ przy różnicy ciśnienia  $10 \text{ Pa}$  pomiędzy zewnętrzną a wewnętrzną stroną nawiewnika, pod warunkiem całkowitego otwarcia elementu dławiącego, znajdującego się w nawiewniku. Dla systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej przepływ ten powinien mieścić się w granicach od  $15$  do  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , a dla systemu wentylacji grawitacyjnej – od  $20$  do  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ . Graniczne wartości przepływu nominalnego zapewniają jednokrotną wymianę powietrza w pomieszczeniach odpowiednio:

- o powierzchni  $8,0 \text{ m}^2$  i wysokości  $2,5 \text{ m}$ ,
- o powierzchni  $19,2 \text{ m}^2$  i wysokości  $2,6 \text{ m}$ .

Dobór wymaganej wymiany powietrza zależy od przewidywanej liczby osób stale przebywających w projektowanym pomieszczeniu oraz od jego przeznaczenia, dlatego też

projektując system nawiewu należy stosować odpowiednią, proporcjonalną liczbę nawiewników o podanym wyżej nominalnym przepływie [3]. Suma strumieni powietrza wpływającego przez te nawiewniki powinna odpowiadać sumie strumieni powietrza odpływającego na zewnątrz przez kanały wentylacji grawitacyjnej. Najkorzystniejszym rozwiązaniem byłoby odprowadzenie powietrza z każdego pomieszczenia z osobna. Jednak to rozwiązanie pociąga za sobą wiele problemów projektowych i w praktyce może być stosowane jedynie przy projektowaniu pomieszczeń-stref spełniających różne funkcje, będących jednocześnie elementami jednej przestrzeni.

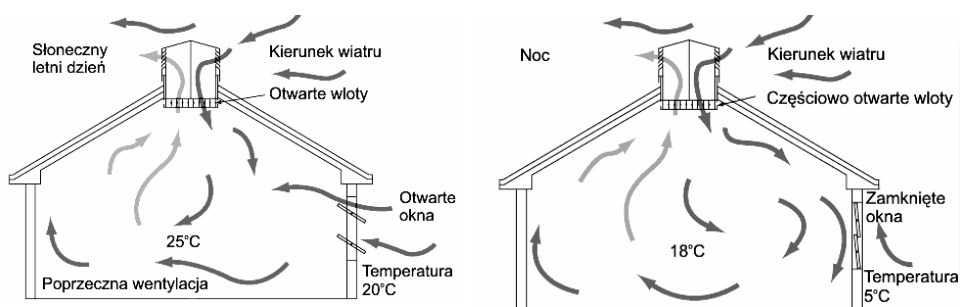
W większości projektów wymogi funkcjonalno-użytkowe wymagają od projektantów wydzielenia pomieszczeń. W takiej sytuacji zalecane jest pośrednie wentylowanie pomieszczenia, oczywiście zgodnie z wymogami rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [4]. Spełnienie tych wymogów nie gwarantuje uzyskania spodziewanych efektów poprawnie działającej wentylacji grawitacyjnej oraz dobrego mikroklimatu pomieszczeń. Na przeszkodzie mogą stać chociażby nadproża drzwiowe lub poziome, a także stropowe elementy konstrukcyjne budynku uniemożliwiające przepływ górnych warstw powietrza, zazwyczaj najbardziej zanieczyszczonego. Pojawienie się tzw. niewentylowanych stref martwych może stanowić duże zagrożenie dla użytkowników wysokich pomieszczeń, w których znajdują się antresole. Projektowanie w górnych częściach nadproży drzwiowych krutek wentylacyjnych o sumarycznym przekroju większym lub równym sumie przekrojów wlotów nawiewników znajdujących się w pomieszczeniu zapewni likwidację tych stref. Jest to rozwiązanie lepsze od dotychczas stosowanej praktyki, polegającej na zapewnieniu odpowiedniej szczeliny wentylacyjnej znajdującej się pomiędzy skrzydłem drzwiowym a posadzką. W przypadku poziomych elementów konstrukcyjnych należy je tak projektować, by mogły się znajdować w warstwie stropu.

Stosowanie tych samych rozwiązań projektowych z zakresu systemów wentylacji grawitacyjnej na wszystkich kondygnacjach projektowanego budynku również nie zapewnia prawidłowego oraz równomiernego ich działania. Dzieje się tak za sprawą występujących zmiennych wartości ciśnień wewnątrz pomieszczeń oraz na zewnątrz budynku (nominalny przepływ powietrza przez nawiewnik został określony przy różnicy ciśnień równej 10 Pa). Na występowanie różnic pomiędzy tymi ciśnieniami decydujący wpływ mają lokalne warunki atmosferyczne oraz geograficzne, wysokość budynku, liczba kondygnacji, wewnętrzny układ przestrzenny, a nawet zewnętrzny kształt bryły budynku. W celu prawidłowego uwzględnienia występujących na poszczególnych kondygnacjach różnic ciśnień, należy tak projektować przewody wywiewne, aby również spełniały one rolę nawiewów, oczywiście stosując zasadę rozdzielności tych dwóch strumieni powietrza. System będzie niezawodnie działał, ponieważ sumaryczna wysokość komina nawiewu i wywiewu w pomieszczeniach na różnych kondygnacjach będzie taka sama. Wobec tego, w pomieszczeniach znajdujących się na niższych kondygnacjach system będzie pracował zgodnie z panującym we wnętrzu podciśnieniem. W pomieszczeniach na ostatnich kondygnacjach przepływ powietrza będzie wymuszony przez panujące wewnątrz nadciśnienie. Na kondygnacjach środkowych dojdzie do równowagi pomiędzy ciśnieniem powietrza napływającego do pomieszczenia a ciśnieniem powietrza usuwanego z tego pomieszczenia. Minimalne nakłady finansowe są dużą zaletą tego systemu. Sprowadzają się one przede wszystkim do kosztów wykonania czerpni powietrza oraz kanału nawiewnego w podziemnej części budynku, doprowadzającego powietrze do komina.

Jednak to rozwiązanie ma również słabe strony, ponieważ w ten sposób można doprowadzić powietrze do pomieszczeń, w których najczęściej są projektowane przewody wentylacji grawitacyjnej, czyli do łazienek oraz kuchni. Doprowadzenie tego powietrza do pomieszczeń sąsiednich powoduje powstanie wielu problemów projektowych. Rozdzielenie nawiewu i wywiewu kominowego jest oczywiście możliwe, ale zdecydowanie mniej opłacalne ze względów finansowych, a także z powodu konieczności budowania przynajmniej dwóch kominów odpowiadających za napływ i odpływ powietrza, co w efekcie wpływa na rozwiązania funkcjonalno-przestrzenne. Projektowanie na tej samej ścianie kominowej otworów nawiewnych oraz wywiewnych pociąga za sobą również niebezpieczeństwo przepływu powietrza pionowo w górę od nawiewu do wywiewu. Wyjaśnienie tego zagadnienia może nastąpić na podstawie badań przepływu mas powietrza. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że wprowadzone do pomieszczenia powietrze, o temperaturze niższej od powietrza wewnętrznego, będzie rozchodzić się w dolnych partiach pomieszczenia, po czym dojdzie do jego pionowej cyrkulacji. Tak opracowany system byłby odpowiedzialny za usuwanie w pierwszej kolejności najbardziej zanieczyszczonych mas powietrza, a w zestawie z nawiewnikami powietrza może stanowić bardzo dobre rozwiązanie, stosowane przede wszystkim w budynkach mieszkalnych.

## 2.2. Nawiewne centrale dachowe

Niskie budynki o otwartym układzie przestrzeni wewnętrznych mogą być wentylowane przez dachowe centrale nawiewne lub nawiewno-wywiewne, które wraz z uchylnymi oknami tworzą prosty system wentylacji naturalnej. Napływ powietrza jest możliwy nie tylko do pomieszczeń ostatniej kondygnacji, ale również na niższe poziomy, do których doprowadzone są systemowe kanały nawiewne. Konstrukcja central dachowych zapewnia uzyskanie strumienia powietrza wentylacyjnego przy wiatrach wiejących z dowolnego kierunku. Regulacja otwarcia ruchomych tłumików przepływu powietrza zapewnia jego kontrolowany napływ. Całkowicie zamknięte przy temperaturze poniżej 16°C, automatycznie się otwierają o 20% przy wzroście temperatury wewnętrznej o każdy 1°C. Do całkowitego otwarcia dochodzi przy temperaturze 20°C. O stopniu otwarcia tłumików decydują również inne parametry: wilgotność powietrza oraz stężenie CO<sub>2</sub>.



Ryc. 1. Centrale dachowe. Schemat działania wentylacji naturalnej pomieszczeń  
Fig. 1. Roof ventilation boxes. Diagram of natural ventilation

Otwarte okna fasady zewnętrznej wzmagają poprzeczną wentylację, intensyfikują wymianę powietrza oraz wpływają na obniżenie jego temperatury. W nocy zazwyczaj okna

są zamknięte, aby nie doprowadzić do nadmiernego wychłodzenia pomieszczenia. Centrale dachowe mogą być również wspomagane energią słoneczną, która zwiększa ich wydajność nawet o 250%. W ten sposób można uzyskać dodatkową wymianę powietrza o przepływie 260 l/s, czyli ponad 900 m<sup>3</sup>/h [5].



Ryc. 2. Centrala dachowa – schemat działania. Addey & Stanhope School w Deptford  
Fig. 2. Roof ventilation box – diagram of working. Addey & Stanhope School w Deptford

W okresie zimowym, przy 5% ciągłym otwarciu tłumików przepływu powietrza, dochodzi do wentylacji, która u osób przebywających w budynku nie powoduje negatywnych odczuć dyskomfortu termicznego.

Niekorzystnym zjawiskiem, które może się pojawić podczas funkcjonowania systemu, zwłaszcza w okresie zimowym, będzie skraplanie pary wodnej na powierzchni ścian kanału wyrzutni centrali dachowej. Wadą tego rozwiązania jest również brak możliwości uzyskania odpowiedniej temperatury powietrza napływającego do budynku bez stosowania dodatkowych urządzeń.

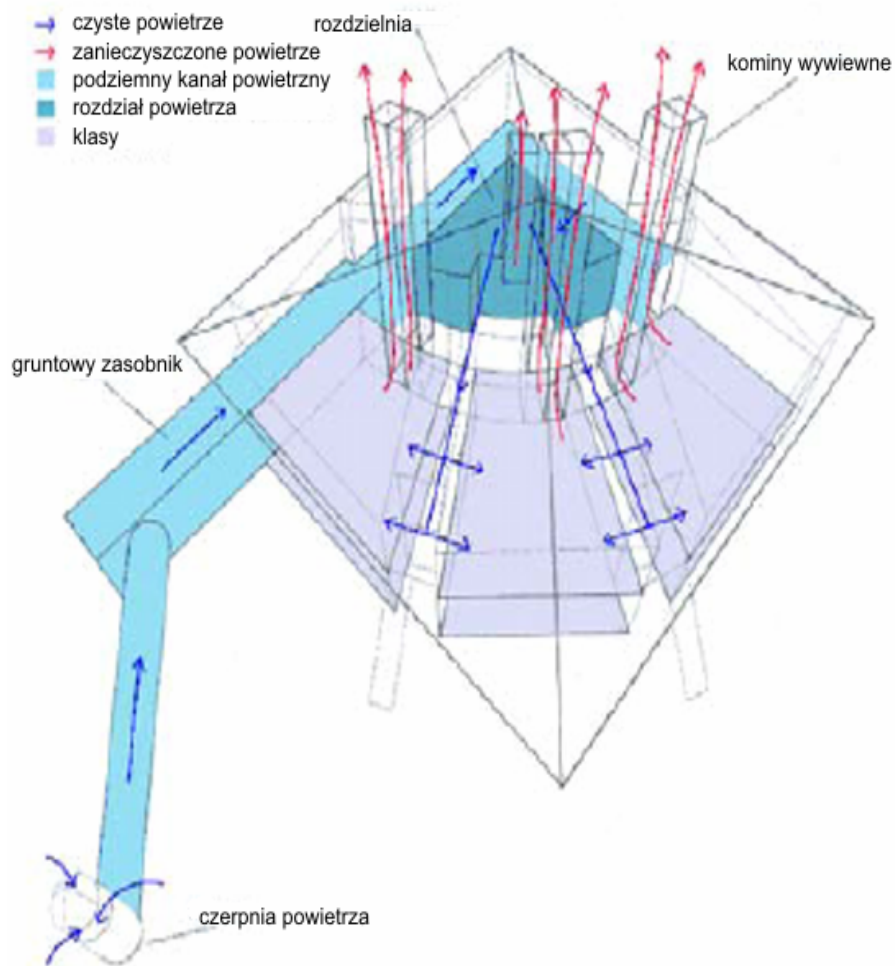
### 2.3. Gruntowy zasobnik powietrza

Rozbudowa szkoły w Nesodden niedaleko Oslo została zaprojektowana na podstawie kompletnego systemu naturalnej wentylacji hybrydowej z gruntowym zasobnikiem powietrza. Przed przystąpieniem do projektu zostały opracowane wytyczne klimatyczne. Wynika z nich, że na tym obszarze średnia prędkość wiejących wiatrów to 2,17 m/s, z przewagą kierunków: północnego, północno-wschodniego oraz przy prędkości powyżej 2 m/s – południowego. Temperatury zewnętrzne rzadko przekraczają 25,2°C latem oraz -20°C zimą. Opierając się na tych informacjach, dokonano obliczeń, na bazie których opracowano koncepcje działania systemu naturalnej wentylacji. System ten został dodatkowo wyposażony we wspomagający wentylator nawiewny. Okazało się bowiem, że przy ciśnieniu powietrza 11 Pa system będzie działał okresowo tylko przez 70% roku, dlatego też dla pozostałych 30% konieczne było, według projektantów, dodatkowe wspomaganie włączane okresowo. W części podziemnej budynku zainstalowano niskoobrotowy wentylator, którego działanie powoduje wzrost ciśnienia powietrza do 50 Pa. Jednak na przestrzeni lat 1999–2002 wentylator nie musiał być włączony ani razu, pomimo panujących typowych dla tego obszaru warunków klimatycznych.

Od strony zewnętrznej cały system rozpoczyna się czerpnią powietrza, w której wloty są usytuowane na wysokości około 2 m. Od czerpni do budynku powietrze przepływa przez długi, 60 metrowy podziemny kanał wentylacyjny, a następnie trafia do rozdzielni, z której



Ryc. 3. Szkoła w Nesodden. Gruntowy zasobnik powietrza  
 Fig. 3. School in Nesodden. Underground container of air



Ryc. 4. Szkoła w Nesodden. Schemat działania systemu wentylacji  
 Fig. 4. School in Nesodden. Diagram of natural ventilation system



rozprowadzane jest oddzielnie do wszystkich pomieszczeń. Podziemny kanał jest zasobnikiem o pojemności 300 m<sup>3</sup>, który zapewnia w okresie letnim doskonałą rezerwę chłodnego powietrza. W okresie zimowym powietrze jest podgrzewane do temperatury +15°C, dzięki umieszczonej w podziemiach budynku pompie wodnej.

Projektowany strumień napływającego powietrza dla każdej z klas to 252 l/s (7 l/s na osobę, razy 30 osób + 0,7 l/sxm<sup>2</sup>, co zapewni usuwanie zanieczyszczeń emitowanych przez materiały użyte do wykończenia wnętrza), a dla głównego holu, przewidzianego dla 60 osób – 532 l/s. W każdej klasie na wysokości 1 m zainstalowane są czujniki CO<sub>2</sub> oraz temperatury powietrza wewnętrznego, odpowiedzialne za odpowiedni napływ powietrza. Ze wszystkich sześciu klas oraz holu powietrze odprowadzane jest oddzielnymi przewodami wentylacyjnym i o dużym przekroju poprzecznym, które u góry zakończone są nasadą zapewniającą odpływ powietrza z prędkością mniejszą niż 0,75 m/s [6].

### 3. Podsumowanie

Właściwie zaprojektowany system wentylacji naturalnej chroni nasze zdrowie, zapewnia odpowiednie parametry mikroklimatyczne pomieszczeń oraz stwarza komfortowe warunki pracy i odpoczynku. Pozytywnie wpływa na stan wszystkich elementów budynku, chroniąc go przed destrukcją mikrobiologiczną.

Zapewnienie wymaganej wymiany powietrza jest podstawowym obowiązkiem projektantów oraz wykonawców. Powszechnie znane przypadki źle funkcjonujących systemów wentylacji naturalnej dotyczą zarówno nowych budynków, jak i budynków poddanych termomodernizacji. Bagatelizowanie występujących zagrożeń jest naganne i niedopuszczalne. W Polsce w ciągu jednego roku notuje się około 300 śmiertelnych wypadków zatrucia tlenkiem węgla i o wiele więcej wymagających hospitalizacji [7].

### 4. Wnioski

1. Określenie wielkości strumienia powietrza, w zależności od powierzchni pomieszczenia, jego kubatury oraz liczby osób stale w nim przebywających, gwarantuje prawidłowy dobór nawiewników powietrza o odpowiedniej wydajności.
2. Suma powierzchni pól przekrojów poprzecznych wlotów powietrza powinna odpowiadać sumie powierzchni pól przekrojów poprzecznych wylotów powietrza.
3. Dobór rozwiązań konstrukcyjno-budowlanych, a także funkcjonalnych wpływa w istotny sposób na poziomy przepływ powietrza wentylacyjnego i może powodować powstanie tzw. niewentylowanych stref martwych, zawłaszcza w narożnikach pomieszczeń oraz w ich górnej strefie (w poziomie nadproży drzwiowych).
4. Zastosowanie grawitacyjnego systemu nawiewu powietrza może korzystnie wpłynąć na równomierny przepływ powietrza w pomieszczeniach położonych na różnych kondygnacjach.
5. Omawiany wyżej system nawiewów dachowych, dzięki swej konstrukcji, zapewnia stały dopływ powietrza, bez względu na kierunek wiejącego wiatru, samoczynnie zwiększa swą wydajność nawet o 250%, wentylując pomieszczenia w okresach silnego nasłonecznienia.

6. Stosowanie gruntowych zasobników powietrza zapewnia wentylację pomieszczeń powietrzem o pożądanych parametrach ciepłno-wilgotnościowych.
7. Powietrze znajdujące się w zasobniku gruntowym stanowi masę termalną wykorzystywaną w cyklu dobowym, a także rocznym do chłodzenia lub ogrzania budynku.
8. Gruntowy zasobnik powietrza spełnia funkcje filtra, w którym osadzają się ciężkie cząsteczki zanieczyszczeń powietrza.
9. Hybrydowe wspomaganie całego systemu okazało się zbędne, prawdopodobnie z powodu dużej pojemności zasobnika, w którym masa powietrza na skutek działania siły bezwładności przepływa we właściwym kierunku nawet podczas panujących niekorzystnych warunków atmosferycznych.

#### Literatura

- [1] Trusewicz T., *Wpływ szczelności okien na wentylację*, Materiały Budowlane, wrzesień 2005.
- [2] Kasperkiewicz K., *Doprowadzenie powietrza wentylacyjnego do pomieszczeń w budynkach mieszkalnych*, Konferencja nt. „Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce’99”.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, (DzU Nr 75 z 2002 r., poz. 690 ze zm.).
- [4] Materiały reklamowe systemu wentylacji „Monodraught, Windcatcher”.
- [5] International Energy Agency, *Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Pilot study report: „Jaer School. Nesodden municipality, Norway”*.
- [6] Grzybowski J., *Użytkowanie obiektów budowlanych*, Konferencja nt. „Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce’99”.