



DOI: 10.21005/pif.2022.49.E-02

BUILDING VENTILATION ACROSS HISTORY – EXAMPLES WENTYLACJA OBIEKTÓW W ROZWOJU HISTORYCZNYM – PRZYKŁADY

Tomasz Gaczoł

Dr inż. arch.

Author's Orcid number: 0000-0002-1360-0035

Politechnika Krakowska, Poland
Wydział Architektury
Katedra Projektowania Budowlanego

ABSTRACT

Various cases from history indicate that the chimney is an important architectural detail in a building. Its shape, size and place where it rises above the roof affect the outline of a building and can even testify to the wealth of the family that inhabits it, as was the case in Portugal, among others. However, a chimney sometimes transforms from an architectural detail into a dominant element, which is not beneficial to the building's overall massing.

At present, ventilation is not only based on the design of ventilation ducts, but also on a comprehensive approach to design that affects the shaping of a building's massing.

Keywords: aerodynamics, chimney, air flow, gravity ventilation.

STRESZCZENIE

Różne przykłady z historii świadczą o tym, że komin jest ważnym detalem architektonicznym budynku. Jego kształt, wielkość, miejsce wyprowadzenia ponad dach istotnie wpływają na sylwetkę obiektu architektonicznego, a nawet świadczy o zamożności rodu zamieszkującego budowlę tak, jak to miało miejsce np. w Portugalii. Czasem jednak z detalu architektonicznego komin przeradza się w element będący dominantą, co nie jest korzystne dla całej bryły budynku.

Obecnie wentylacja nie tylko polega na zaprojektowaniu przewodów wentylacyjnych ale również na kompleksowym podejściu do projektowania, mając wpływ na kształtowanie bryły obiektu.

Słowa kluczowe: aerodynamika, komin, przepływ powietrza, wentylacja grawitacyjna.

1. INTRODUCTION

Natural ventilation is a basic method of ventilating buildings. It is responsible for ensuring proper indoor microclimate and for maintaining buildings in a correct technical condition, namely without damp or mold. Natural ventilation is a physical phenomenon induced as a result of differences in air pressure, which means it is a constant and reliable process. Over the centuries, a development in natural ventilation elements took place. For instance, in Egypt, the Pyramid of Khufu has ventilation shafts. In Greece, a typical Greek house is a courtyard house, in which arcades, the atrium and small external windows cool down the air facilitating natural ventilation. In modern-day Iraq one can see the region's distinct malqafs – windcatchers – which resemble chimneys with a sail that captures even the slightest gust of wind, leading it to the lower stories of the building it ventilates. However, a true explosion of chimney forms took place in the Middle Ages, and later during the Renaissance and the Baroque. The chimney, or rather its form, became an emblem of the family that lived in a given building and displayed its social status and wealth. One European example of this is the Palace in Sintra, Portugal.

In the twentieth century and in the present, many architects who design new buildings base the design process on analyses of air flow around buildings and inside them. Names like Norman Foster, Renzo Piano or Richard Rogers invariably bring to mind modern architecture subjected to climate requirements. Irrespective of where a newly designed building is to stand, these designers investigate microclimate parameters, the direction and velocity of prevalent winds, insolation, temperature ranges and air humidity.

The basis for this study was a review of professional literature on ventilation. Based on the literature, information collected online and original observations, I noted that there are certain discrepancies between theory and practice. Even greater discrepancies exist between the requirements of construction law and the existing state. This is why I deemed it the most suitable to choose the comparative method. The second, equally important method, is deduction, based on my personal observations and an original analysis of the phenomena encountered. This analysis was performed using original air flow diagrams, based on accepted architectural solutions and certain physical phenomena. This mode of “graphical” thinking leads to numerous conclusions.

2. PYRAMID OF KHUFU

We can encounter architectural and technical solutions that indicate the existence of the need to design and build ventilation shafts in buildings already from the third millennium BC. One such case is most certainly the Pyramid of Khufu.

The Pyramid of Khufu, located in Egypt on the Giza Plateau, was built during the Old Kingdom period around 2560 BC and was intended to serve as a tomb for the pharaoh Khufu, probably to a design by Hemon. The pyramid features a total of four shafts, each with a cross section of around 20x20 cm, two of which most certainly acted as ventilation shafts and extend from the king's chamber. The other two start in the queen's chamber. Discovered in 1872, they continue to be an object of study, for instance by German engineer Rudolf Gantenbrink, who pushed several dozen meters into them and discovered a small wall made of high-quality sandstone with two bent copper pins resembling handles. On 16 September 2002, during a live video feed organized by Zahi Hawass in cooperation with the National Geographic television channel, another robot was placed in the shaft. The robot drilled through the then-famous Gantenbrink's Door, only to discover another set of doors. In the beginning of 2011, a revolution broke out in Egypt, which proved to be a significant obstacle to continuing work in the pyramid. Zahi Hawass also lost his position of Giza's caretaker and archaeological supervisor. The ventilation shafts that extend from the queen's chamber continue to be an enigma to this day (Fig.1 and 2).



Fig. 1. The so-called Queens Chamber in the Great Pyramid of Khufu. Source: Hawass, 2005

Ryc. 1. Komora królowej w wielkiej piramidzie Cheopsa. Źródło: Hawass, 2005



Fig. 2. The south so-called airshaft. So-Called Queens Chamber in the Great Pyramid of Khufu. Source: Hawass, 2005

Ryc. 2. Południowy szyb powietrzny. Komora królowej w wielkiej piramidzie Cheopsa. Źródło: Hawass, 2005

3. THE MIDDLE AGES AND THE RENAISSANCE

Let us move on to the common era, during which chimneys, nigh-invisible when paired with flat ancient roofs, became important architectural elements alongside steep medieval roofs and began to affect the design of a building's outline. To provide the best draft, medieval architects strived to extend chimneys above the roofs in the highest places of gable walls. When such a solution was not possible, chimneys penetrated roof surfaces, often at significance distances from a roof's tallest point – the ridge. This was not conducive to correct draft inside the chimneys, which is why chimneys in roof surfaces had to be extended to reach significant heights. Chimneys were elongated using a cylindrical extension, which over time took on various elaborate shapes (Fig.3).

Cylindrical chimney top
Cylindryczne zwieńczenie
komina



Turret-shaped
chimneycrowned
Zwieńczenie komina
w postaci wieżyczki



Ornamental chimney crown
Ozdobne zwieńczenie
komina



Chimney crown with several
ducts
Zwieńczenie komina z kilku
przewodami

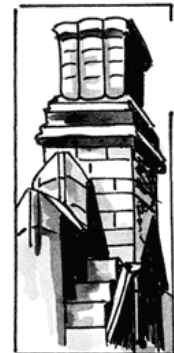


Fig. 3. Chimney tops.

Ryc. 3. Zwieńczenia kominów. Source / Źródło: Mączyński, 1956

The Gothic chimney crown – in the form of a cylindrical column topped with a cornice, was equipped with cantilevers that supported a wash. The wash was in turn covered by a tiny roof. In-

side this roof there were openings that expelled smoke or used air. The crown was often shaped into a turret, as chimneys had large cross-sections and a meter-long side. The turret, apart from side openings, also had upper openings. The crowns were made of granite, shale and brick. The Renaissance saw the continuation of Gothic solutions, but gave them its own, more ornamental form. The Italians began to extend chimneys above the roof in the fourteenth century. This period saw the appearance of a chimney stack topped with an iron wash. The wash had a movable cover. This allowed the duct to be sealed. Overall, Italian chimneys do not appear to be as striking as French ones. Chimneys of German nations, namely German and Dutch, were much simpler and primitive. They had a typical division into a base, shaft and crown. Our domestic chimneys were modest. The German tradition was continued in cities and noble manors. The ornamental chimneys of palaces erected by Italian master builders were an exception though.

A chimney featuring a division into a base, shaft and crown (the town hall in Amsterdam, the Netherlands)

Komin z podziałem na cokół, trzon i zwieńczenie
(ratusz w Amsterdamie)

Italian chimney crowns
Nadstawy kominowe włoskie

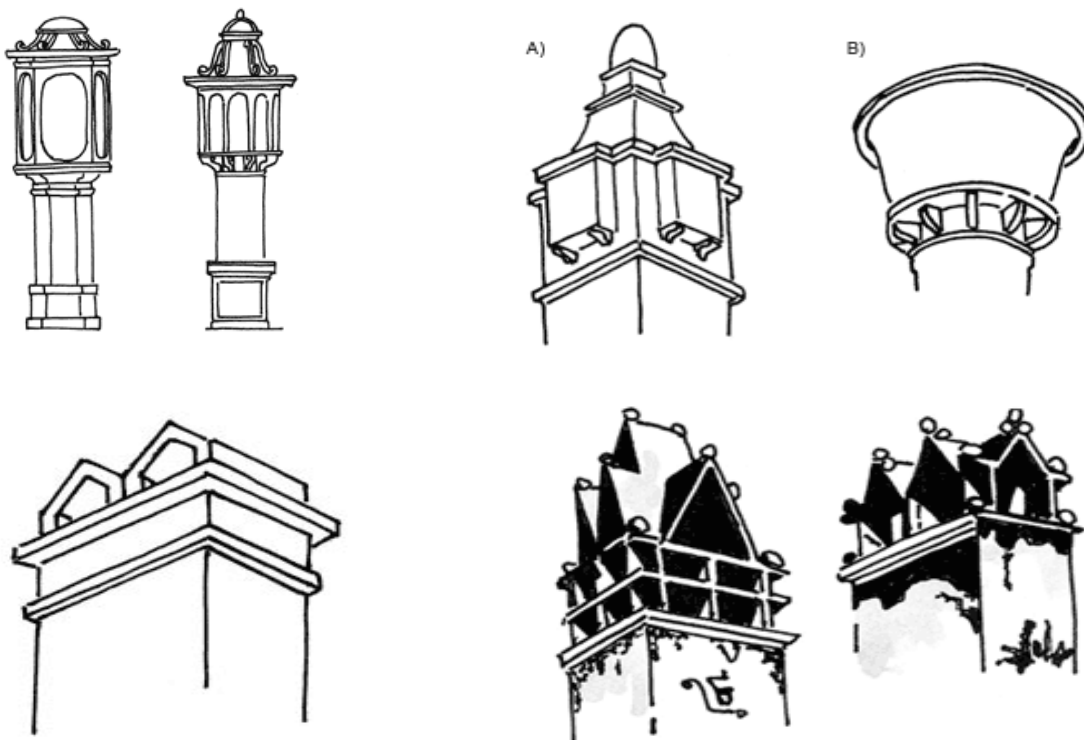


Fig. 4. Chimney crowns. Source: Mączyński, 1956
Ryc. 4. Nadstawy kominowe. Źródło: Mączyński, 1956

4. FRANCE

The French covered this simple and generally purely utilitarian device with such a multitude of sculptures and ornaments that the chimney began to stand out on a building-wide scale! It was as if a given castle or palace had been built solely to terminate in a beautiful, elaborately decorated chimney. This resulted in an excessive highlighting of chimney outlines in building facades, which led to a vividness of the building's form, but also introduced tension and a sense of a 'tattered' facade. Viollet-le-Duc commented on this as follows: "it disrupts the roof line and makes a building appear as a ruin" (Mączyński 1956) (Fig.5).



Fig. 5 France, Château Chambord. Chimney forms in sculptural elements, disrupt the façade's harmony, introducing chaos. Source: Château Chambord, 2022

Ryc. 5. Francja. Zamek Château Chambord. Formy kominów, bogate w elementy rzeźbiarskie niszczą harmonię elewacji, wprowadzając chaos. Źródło: Château Chambord, 2022

5. PORTUGAL AND MEDITERRANEAN COUNTRIES

Portuguese chimneys are an excellent example of the influence of ventilation on the design of architectural forms (Fig.6). Portugal is a country where a given family's wealth and position was signified by chimneys. Of course, at present this tradition is increasingly rarely continued, yet it had lasted for many centuries and brought an explosion of a diverse range of chimney forms, which resembled sculptures more than ventilation shafts with a clear and obvious function (Detail 3/1982).



Fig. 6. Portuguese chimneys. Source: original photo 2009, DETAIL, 1982

Ryc. 6. Portugalskie kominy. Źródło: original photo 2009, DETAIL, 1982

The topmost elements of the tallest towers in the Sintra National Palace in Sintra became a peculiar architectural form. This was probably caused by the tradition mentioned. The towers were covered with conical roofs, topped by tall chimneys with a circular cross-section, placed at the highest points. Both the roofing and the chimneys were made from stone circles, which produces an impression of the two elements being combined into a new, uniform shape (Fig. 7).



Fig. 7. Portugal. Sintra National Palace. Source: National Palace of Sintra, 2022
Ryc. 7. Portugalia. Pałac w Sintrze. Źródło: National Palace of Sintra, 2022

We can also observe interesting chimney designs in Croatia. Here I am primarily referring to rural farm buildings of southern Croatia, where apart from a residential buildings one can find distinctive fish smoking structures, topped by astonishing stone chimneys. Others, made from brick and stone, reference European designs and are characterized by uncommon simplicity and 'taste' (Fig. 8).



Fig. 8. Croatian chimneys. Source: original photo 2006
Ryc. 8. Chorwackie kominy. Źródło: original photo 2006

Particularly notable are Italian ventilation intake designs present in, among others, the Villa Rotonda built in 1566 in Vicenza, and in villas in Costozza near Vicenza. In Villa Rotonda, ventilation operates based on a lower intake in the building's underground section, where the air is cooled, and later fed through a centrally placed duct that is the building's core, and later to indoor spaces. The internal microclimate is also shaped by four large loggias, one in each facade. They shade the entrances to the building and protect against the sun's hot rays that heat up the air that enters the building (Fig. 9, 10).



Fig. 9. Villa Trento Carli in Costozza, frontal façade. Source: Behling, 1996
 Ryc. 9 Willa Trento Carli w Costozza. Elewacja frontowa.
 Źródło: Behling, 1996



Fig. 10. Villa in Costozza. Marble rosette of the air intake. Source: Behling, 1996
 Ryc. 10 Willa Costozza. Marmurowa rozeta nawiewu powietrza. Źródło: Behling, 1996

The villas in Costozza are an example of a sophisticated air intake system. The system was built based on caves located near the buildings. The entrances to the caves were always below the buildings, which provided a supply of fresh air that cooled in the cold dark grottoes, and flowed downwards. The air moved into the buildings via ventilation ducts which terminated in sculpted marble rosettes placed in the floors of residential levels (Gaczoł T., 2002).

6. ARCHITECTURE OF IRAQ

Malqafs, or windcatchers, are a distinctive feature of Iraq's architecture. They are specially designed air intake shafts that extend from the roof to the lowermost story. Houses are orientated relative to the direction of prevalent winds, so that the malqafs can contribute as much as possible to ventilating rooms and lower indoor air temperature by as much as 20°C (Fig. 11, 12).

The air pushed inside by the wind, flows downward and is cooled by the cold, thick walls of the air intake shafts, and pitchers with water are placed at its outlet, which enhances the parameters of the air (Kozłowski D., 1990, Kusionowicz T., 1991).

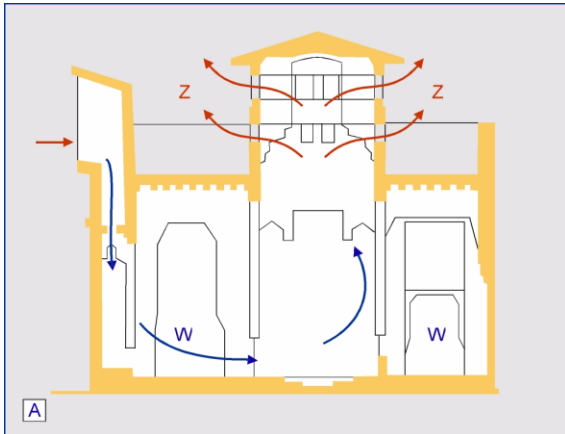


Fig. 11. Iraqi house. Intake ventilation diagram (malgafs). Source: original drawing, 2002
 Ryc. 11 Dom iracki. Schemat wentylacji nawiewnej (malgafy). Źródło: original drawing, 2002

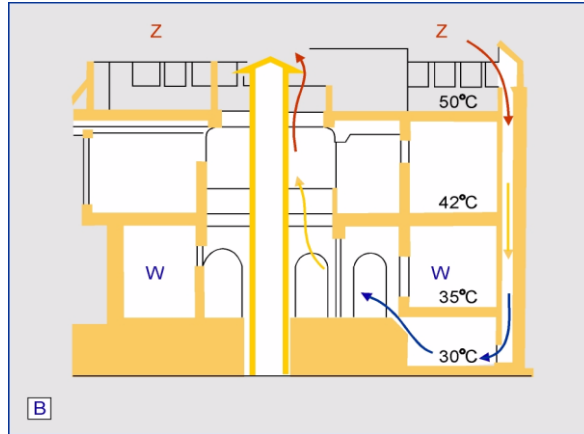


Fig. 12. Iraqi house. Air temperature distribution. Source: original drawing, 2002
 Ryc. 12. Dom iracki. Rozkład temperatur powietrza. Źródło: original drawing, 2002

7. KRZYŻTOPÓR CASTLE AND POLISH ARCHITECTURE

In Poland, chimneys are typically designed to be modest. They were given more elaborate forms only in Renaissance and later palaces.

The walls of Krzyżtopór Castle feature numerous smoke and ventilation ducts, used to ventilate spaces located primarily in the cellars. Smoke ducts were traced in the lower stories, within the walls, to the attic, and often departed from the flush of the walls and extended above their tops, forming separate structures in the form of chimney columns, formed into a pointed arch and topped with a cylinder-shaped chimney. At present, the only surviving chimney columns with smoke ducts are located in the castle's four corner towers (Kusionowicz T., 1991), (Fig.13).



Fig. 13. 13. Krzyżtopór Castle in Ujazd. Source: Kurek 2017; Kusionowicz 1991
 Ryc. nr 13. Zamek Krzyżtopór w Ujeździe. Źródło: Kurek 2017; Kusionowicz 1991

The chimneys of manor houses and urban residences were predominantly simple, often merely with a horizontal division into a base, shaft and crown. Some Polish manors stood out in terms of their silhouettes due to a so-called belvedere located in their ridges, which, in the form of an attic wall located in the topmost part of a roof, concealed ventilation and smoke ducts (Jaroszewski T., 1993) (Fig. 14).



Fig. 14. a) Warsaw. Palace in Wilanów. Source: Mączyński 1956; b) Chimney that is a fragment of a frontal facade's attic wall. Source: original photo 2009; c) Kazimierz Dolny-tenement house. Source: original photo 2012

Ryc. 14. a) Warszawa. Pałac w Wilanowie. Źródło: Mączyński 1956; b) Komin, będący fragmentem atyki elewacji frontowej. Źródło: fot. autora 2009; c) Kazimierz Dolny – kamienica. Źródło: fot. autora 2012

8. ANTONI GAUDÍ – CASA MILÀ AND CASA BATLLÓ

Casa Batlló in Barcelona became a miracle in the years 1904–1906 when, at the owner's request, Gaudí remodeled it "a little." The photos below are proof that Gaudí turned everything into miracles – even chimneys and ventilation ducts, which in Casa Batlló were given distinctive shapes clad in a colorful ceramic mosaic (Fig. 15).



Fig. 15. Casa Batlló. Sculptural chimney forms. Source: Architektura, Sztuka XX wieku, 2008

Ryc. 15. Casa Batlló. Rzeźbiarskie formy kominów. Źródło: Architektura, Sztuka XX wieku, 2008

Another building designed by Antoni Gaudí that can be found when strolling along Passeig de Gràcia is Casa Milà, also called La Pedrera (the Quarry). It was designed and built by Gaudí for businessman Pedre Milà and his wife. It astonishes with its wavy facade, style and colors, as well as its roof, studded with chimneys called "witch scarers" that resemble smoke in shape. This Secessionist building erected in the years 1906–1910 was unfortunately not finished due to Gaudí's disagreement with the client (Fig. 16).



Fig. 16. Casa Milà. Sculptural chimney forms. Source: Casa Milà, 2015; Casa Milà, 2022

Ryc. 16. Casa Milà. Rzeźbiarskie formy kominów. Źródło: Casa Milà, 2015; Casa Milà, 2022

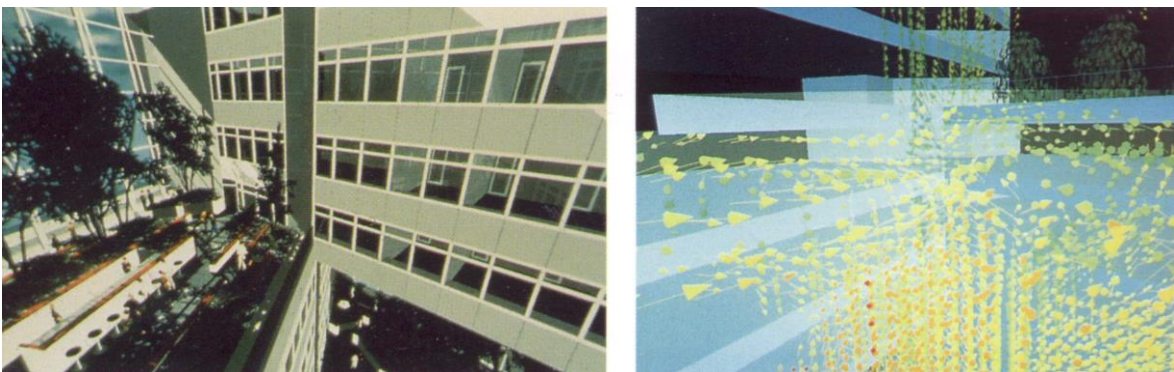
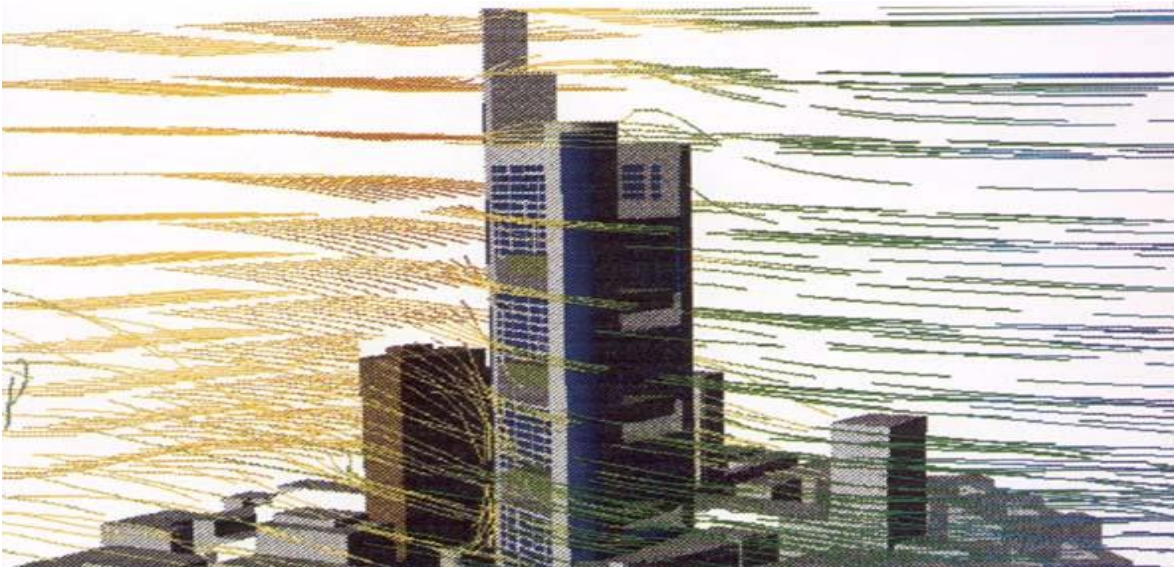
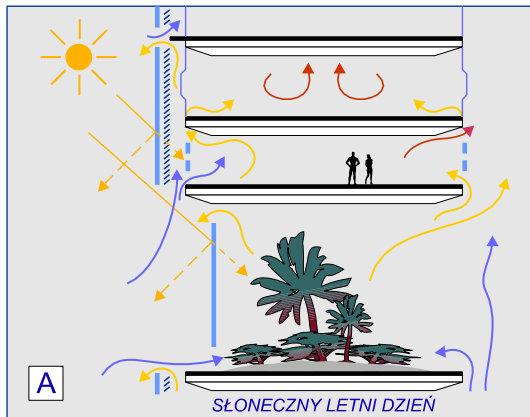
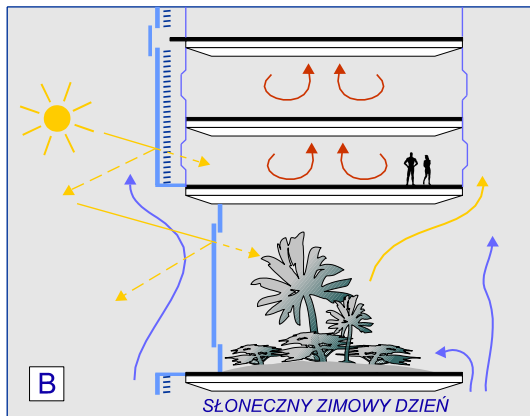


Fig. 17. Commerzbank Tower in Frankfurt. Computer analysis of air flow around the building and in its atrium. Source: Behling 1996

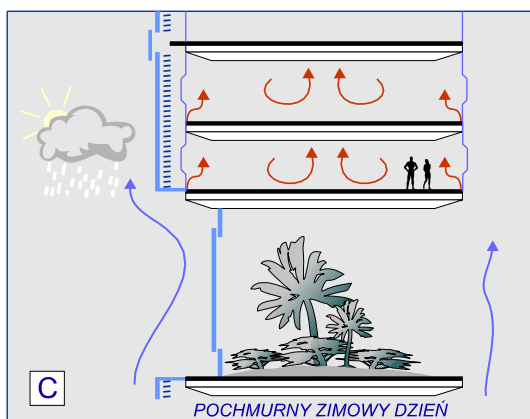
Ryc. 17. Commerzbank Tower we Frankfurcie. Analiza komputerowa przepływu powietrza wokół budynku i w jego atrium. Źródło: Behling 1996

**SUMMER**

- external facade ventilation
- louvres prevent air overheating
- air from the external facade ventilates indoor office spaces
- the ventilated sky garden side introduces air inside the atrium
- the air inside the atrium ventilates indoor office spaces
- the used heated air is expelled

**WINTER**

- no external facade ventilation
- louvres allow for indoor air to be heated by sunlight
- the sky garden is ventilated only from the side of the atrium
- the external, closed glass envelope of the sky garden allows thermal radiation to pass through inside
- the warm air inside the atrium heats the internal facade
- the used heated air inside the indoor spaces is expelled

**WINTER**

- the external facade is not ventilated
- the HVAC system supplies warm air to indoor office spaces
- the sky garden is ventilated only from the atrium side
- the external glass envelope of the sky garden is closed
- the atrium is filled with cold air
- used heated air is expelled by the HVAC system

Fig. 18. Commerzbank Tower in Frankfurt. Building ventilation diagram. Source: Original drawing

Ryc. 18. Commerzbank Tower we Frankfurcie. Schemat wentylacji obiektu. Źródło: Rysunek autora

9. NORMAN FOSTER – COMMERZBANK TOWER IN FRANKFURT

The Commerzbank Tower is a sixty-two-story skyscraper with a height of 254 m. Its floor plan is based on the shape of an equilateral triangle with slightly convex sides and rounded tips. The core

of the tower forms an internal atrium that extends along its entire height. Every twelfth story features four-story-tall sky gardens that support natural ventilation, and the building's cylindrical form provides a beneficial distribution of wind pressure across the building's external facade, which produces a properly functioning cross-ventilation. (Detail 3/97). The building's natural ventilation operates not only due to the double-skin facade, but also utilizes the internal facade that faces the atrium. The external glazed and thermally insulating cladding, made from 8 mm thick glass, has gaps that take in and expel air. The internal cladding is formed by openable windows and thermal insulation and fire-resistant material that protects the building's structure, with a height of 1.5 m. Between the two layers are vertical louvres that can regulate insolation and the temperature of the air that flows inside the facades. The building's model was also tested in terms of air flow around it and the impact of this flow on the velocity of air masses inside (Fig.17). The building's ventilation is dictated by external atmospheric conditions, the time of day and year, and has been presented in the diagram below (Fig. 18).

**SCHEMAT WENTYLACJI CENTRUM KULTURALNEGO W NOUMEA'I - NOWA KALDONIA
ARCHITEKT - RENZO PIANO**

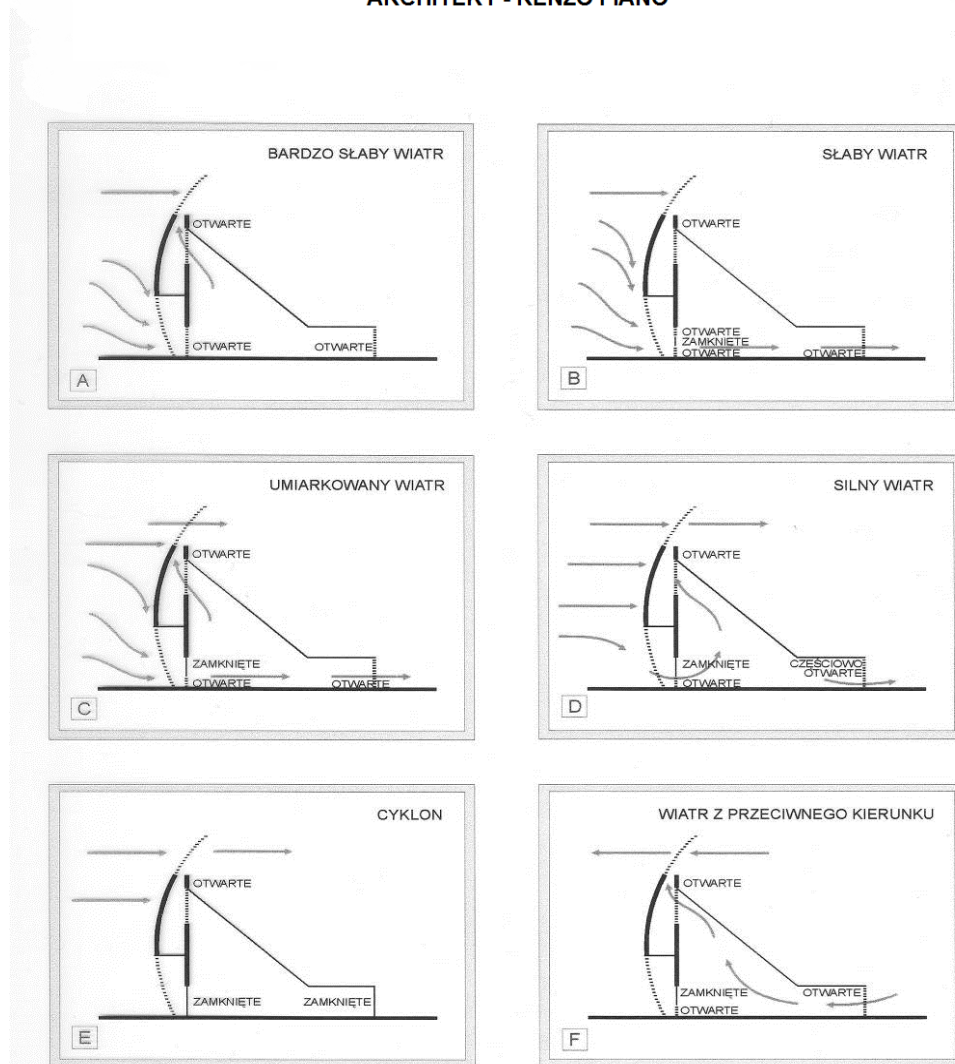


Fig. 19. Jean-Marie Tjibaou Cultural Centre in Nouméa. Ventilation diagram – original drawing. Source: original drawing.
Ryc.19. Centrum Kulturalne Jean-Marie Tjibaou w Noumea'i. Schemat wentylacji. Źródło: rysunek autora

10. RENZO PIANO – JEAN-MARIE TJIBAOU CULTURAL CENTRE IN NOUMÉA

Climate conditions such as temperature, humidity prevailing wind direction and velocity, determined the choice of the massing for the Jean-Marie Tjibaou Cultural Centre in Nouméa. The building was designed to resemble local traditional architecture through its shape and material. The aerodynamic sleeves that extend above the greenery are an element that facilitates natural ventilation air flow and ensure that the structure of the entire building remains stable in the face of cyclone winds that blow in the area. The entire concept of vertical and horizontal air flow has been presented in graphical diagrams (Fig. 19).

11. RICHARD ROGERS

Digital air flow tests are also used to create optimal conditions for ventilation in a building's internal spaces. Such simulations are conducted during a building's design and occupancy phases, for various times of day, the year, external temperatures, insolation, winds, etc. Buildings fit for the twenty-first century are electronically controlled and it is computers that decide the number of windows to open or that the roof will retract. Of course, there is a certain danger in surrendering so much control to modern electronics, as a system can always break down, which can result in restricted air flow. On the other hand, if a system is controlled continuously by a person and there also exists the option to manually regulate air flow, then such solutions can provide us with comfortable working conditions using natural ventilation means (Fig.20).

The building, which is probably a third-millennium building due to its electronic "intelligence," is includes the offices of Daimler AG, located near Potsdamer Platz in Berlin (Behling S.S., 1996).

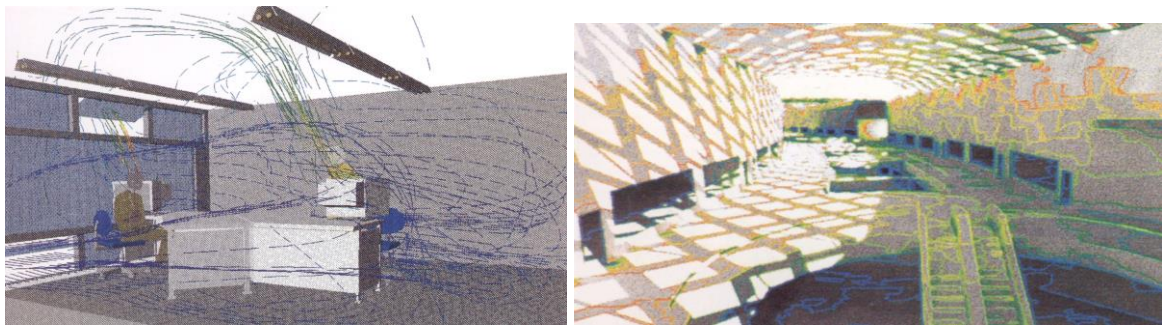


Fig. 20. Daimler Chrysler Office and Retail – digital air flow simulation. Source: Behling 1996

Ryc. 20. Biuro Daimler Chrysler w Berlinie – symulacja komputerowa przepływu powietrza. Źródło: Behling 1996

12. NEGATIVE CONTEMPORARY CASES

The Contact Theatre renovation in Manchester is surprising for multiple reasons, which interestingly escape classification. At first glance, one can see astonishing brick chimneys that are over 40 m tall. The building's contemporary structure is probably unique on a European scale, as it was designed to ensure natural cross-ventilation and gravity ventilation (Fig.21, 22).

One of Poznań's tenement houses was scarred in a similar manner. As a result of obstructed ventilation and smoke ducts, it was given a range of new chimneys from stainless steel, "thankfully" placed from the courtyard side. As a result, the chimneys dominated the facade, creating a jarring view. One may ask oneself: who agreed to this? (Fig.23)



Fig. 21 Manchester – Contact Theatre. Forty-meter-tall gravity ventilation shafts. Source: FOCUS ON ZINC, 2000
 Ryc.21 Manchester – Contact Theatre. 40-metrowej wysokości przewody wentylacji grawitacyjnej. Źródło: FOCUS ON ZINC, 2000

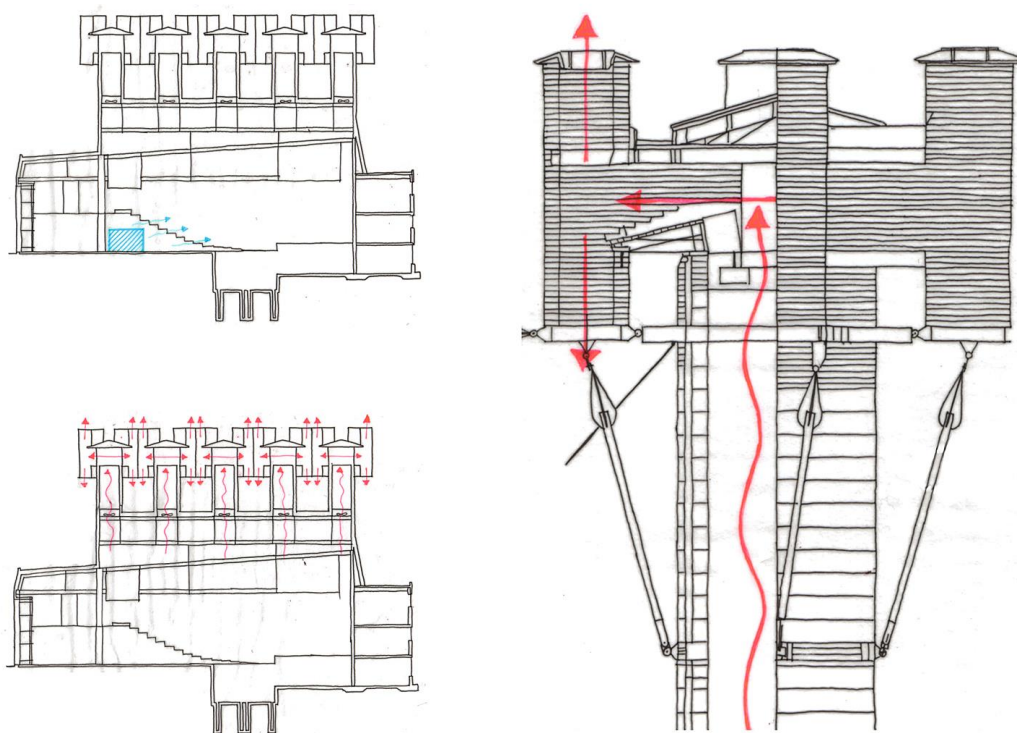


Fig. 22. Manchester – Contact Theatre. Forty-meter-tall gravity ventilation shafts. Source: Contact Theatre, 2010
 Ryc. 22. Manchester – Contact Theatre. Schemat działania wentylacji grawitacyjnej. Źródło: Contact Theatre, 2010

13. CONCLUSIONS

The following conclusions can be formulated after the analysis presented:

- Since the most ancient times, matters of ventilation have accompanied man's everyday life,
- In times when Egyptian culture predominated, well-designed and built gravity ventilation systems were constructed,

- Ventilation systems have had an immense impact on building form design,
- A veritable explosion of architectural forms took place during the Gothic period, and later during the Renaissance, when the chimney rose to the rank of an architectural element that often defined a building's form,
- In a sense, matters of ventilation have influenced human awareness in certain areas of Southern Europe, as the chimney as an integral part of a furnace and the symbol of the hearth acted as a signature element of a family, defining its wealth and membership in a specific social class,
- Ventilation systems shape architectural forms depending on climate and culture – in Iraq, this takes on the form of malqafs,
- External building forms, dictated by their ventilation systems, are distinctive of their respective regions,
- In countries with a subtropical or tropical climate, ventilation systems are used to cool buildings,
- The need for proper ventilation also affects the placement of buildings and their orientation relative to prevailing wind directions,
- Some traditional solutions were adopted by contemporary architecture: vertical or slanted ventilation ducts (which use pressure equalization level above the ventilated space to induce air flow), atrial building layouts and large, shade-providing eaves,
- An incorrect approach to design motivated solely by the desire to ensure code compliance concerning natural ventilation, and especially gravity ventilation, can lead to a deformation of a building's massing or to its disfiguration,
- Having so many fantastic historical examples from various regions of the world, we are often unable to properly utilize them in our design work.



Fig. 23. Poznań – a tenement house along Jackowskiego Street. Source: original photo 2012

Ryc. 23. Poznań-jedna z kamienic przy ul. Jackowskiego. Źródło: fot. autora 2012

WENTYLACJA OBIEKTÓW W ROZWOJU HISTORYCZNYM – PRZYKŁADY

1. WSTĘP

Wentylacja naturalna jest jedną z podstawowych metod wentylacji obiektów budowlanych. Odpowiada ona za kształtowanie prawidłowego mikroklimatu pomieszczeń oraz za dobry stan techniczny obiektów pozbawionych zawilgoceń czy też zagrzybień. Wentylacja naturalna jest zjawiskiem fizycznym, powstałym na skutek różnicy ciśnień powietrza, a zatem jest to proces ciągły i niezawodny. Na przestrzeni wieków można zauważyć rozwój elementów będących częściami składowymi wentylacji naturalnej. W Egipcie na przykład, Piramida Cheopsa posiada szyby wentylacyjne. W Grecji typowy dom grecki jest domem atrialnym, w którym dzięki podcieniom, atrium i małym zewnętrznym otworom okiennym, dochodzi do schładzania mas powietrza, służących wentylacji naturalnej. Na terenie dzisiejszego Iraku można spotkać charakterystyczne dla tego regionu malkafy czyli łapacze wiatru, które przypominają kominy z żaglem wyłapującym choćby najmniejszy podmuch powietrza, wprowadzając go na dolne kondygnacje wentylowanego budynku. Jednak prawdziwy rozkwit form kominów górujących nad obiektami nastąpił w średniowieczu, potem w renesansie i baroku. Komin, a właściwie jego forma była wizytówką rodu mieszkającego w danym obiekcie, stanowił o jego statusie społecznym oraz o zamożności. Takim europejskim przykładem może być Pałac w Sintrze, w Portugalii.

W XX wieku oraz w chwili obecnej wielu architektów projektujących nowe budynki opiera proces projektowania o analizy przepływu powietrza wokół budynków oraz w nich samych. Takie nazwiska jak Norman Foster, Renzo Piano czy Richard Rogers nieodzwrotnie kojarzą się z nowoczesną architekturą podporządkowaną wymogom klimatycznym. Bez względu na to gdzie znajduje się nowo projektowany budynek ww. projektanci przeprowadzają studia nad: parametrami mikroklimatu, kierunkiem i prędkością przeważających w tym terenie wiatrów, nasłonecznieniem wielkością temperatur i wilgotnością powietrza.

Podstawą przeprowadzenia badań naukowych jest zapoznanie się z fachową literaturą, mówiącą o wentylacji. Na podstawie tej literatury, informacji zaczerpniętych z internetu oraz na podstawie własnych spostrzeżeń, zauważyłem że istnieją pewne rozbieżności pomiędzy teorią, a praktyką. Jeszcze większe rozbieżności istnieją, pomiędzy wymogami prawa budowlanego, a stanem faktycznym. Dlatego też uznałem za najsluszniejszy wybór metody porównawczej. Drugą równorzędną metodą będzie metoda dedukcji, oparta na własnych spostrzeżeniach i własnej analizie napotkanych zjawisk. Analiza ta została wykonana na podstawie własnych schematów przepływu powietrza w oparciu o przyjęte rozwiązania architektoniczne oraz niektóre zjawiska fizyczne. Ten sposób „rysunkowego” myślenia doprowadzi do wielu wniosków.

2. PIRAMIDA CHEOPSA

Już 3 tysiące lat przed naszą erą spotykamy rozwiązania architektoniczno-budowlane, wskazujące na potrzebę projektowania i wykonywania szybów wentylacyjnych we wznoszonych obiektach. Takim przykładem jest z pewnością Piramida Cheopsa.

Piramida Cheopsa znajdująca się w Egipcie na płaskowyżu w Gizie., zbudowana w okresie Starego Państwa ok. 2560 lat p.n.e. z przeznaczeniem na grobowiec faraona Cheopsa (egip. *Chu-fu*), prawdopodobnie według projektu Hemonia. W tej piramidzie znajdują się łącznie cztery szyby o przekroju mniej więcej 20 na 20 centymetrów każdy, z których dwa z pewnością służyły jako

kanały wentylacyjne, wychodzące z komnaty króla. Dwa pozostałe wychodzą z komnaty królowej, odkryte w 1872 roku stanowią do dnia dzisiejszego obiekt badań m.in. przez niemieckiego inżyniera Rudolfa Gantenbrink, który przecisnął się kilkadziesiąt metrów w głąb i odkrył zrobioną ze znakomitej jakości piaskowca ściankę z dwoma zrobionymi z miedzi zagiętymi szpilami, przypominającymi klamki. Dokładnie 17 września 2002 roku podczas spektaklu medialnego na żywo zorganizowanego przez Zahi Hawassa we współpracy z kanałem telewizyjnym National Geographic do tego samego szybu wpuszczono kolejnego robota, który przewiercił się przez słynne już „drzwi Gantenbrinka”. Odkryto za nimi kolejne drzwiczki. Na początku 2011 roku wybuchła w Egipcie rewolucja, która w znaczący sposób wstrzymała postęp prac w piramidzie. Posadę archeologicznego dowódcy dzierżącego pieczę nad Gizą stracił również Zahi Hawass. Do dnia dzisiejszego szyby wentylacyjne wychodzące z komnaty królowej stanowią prawdziwą enigmę (ryc. 1 i 2).

3. OKRES ŚREDNIOWIECZA I RENESANSU

Przenieśmy się jednak do czasów naszej ery, gdzie kominy, które przy płaskich antycznych dachach były prawie niewidoczne, stają się na średniowiecznych stromych dachach ważnym elementem architektonicznym, wpływającym na kształtowanie sylwety budynku. W celu zapewnienia najlepszego ciągu, średniowieczni architekci starali się wyprowadzić kominy ponad dach w najwyższych miejscach ścian szczytowych. Przy braku możliwości takiego rozwiązania kominy przebijały połąc dachową niejednokrotnie w znacznej odległości od najwyższego punktu dachu - kalenicy. Nie sprzyjało to dobremu ciągowi powietrza wewnątrz kominów, dlatego też kominy znajdujące się w połąc dachowej musiały być wyciągane w górę na dużą wysokość. Wydłużenie kominów osiągnano przez zastosowanie zwieńczenia cylindrycznego komina, który z biegiem czasu przyjmował różne wymyślne kształty (ryc. 3).

Gotyckie zwieńczenie – kolumna cylindryczna, zakończona gzymsem, wyposażona była we wsporniki, które podtrzymywały „czapkę”. Tą z kolei nakrywał mały daszek. W nim zaś rozmieszczano otwory służące wypuszczaniu dymu lub zużytego powietrza. Zwieńczenie niekiedy przekształcało się w wieżyczkę, jako iż kominy miały duży przekrój i metrowy bok. Wieżyczka prócz otworów bocznych, posiadała również górne otwory. Zwieńczenia wykonywano z granitu, łupku i cegły. Renesans utrzymał gotyckie rozwiązania, lecz dał im własną formę, bardziej zdobniczą. Włosi kominy ponad dach wyprowadzać zaczęli dopiero w XIV w. Wtedy pojawił się słup kominowy zakończony żelazną czapką. Czapka miała ruchomą nakrywę. Umożliwiło to zamknięcie przewodu. W sumie kominy włoskie nie rzucają się aż tak bardzo w oczy jak francuskie. Kominy nacji germańskich, tj. niemieckie i holenderskie, znacznie prostsze, niewymyślne, miały typowy podział na cokół, trzon i zwieńczenie. Nasze krajowe kominy były skromne. W miastach i po dworach szlacheckich kontynuowano tradycję niemiecką. Pewnym wyjątkiem są ozdobne kominy pałaców, które wznosili włoscy mistrzowie (ryc. 4).

4. FRANCJA

Francuzi pokrywali owo proste skądinąd i czysto użyteczne urządzenie taką ilością rzeźb oraz ornamentów, że komin zdecydowanie wyróżniał się w całym budynku! Zupełnie jakby dany zamek, czy pałac zbudowano tylko po to, aby uwieńczyć go pięknym, fantazyjnie zdobionym kominem. Doprowadziło to w efekcie do zbyt dużego wyróżnienia sylwety komina w elewacji budynku, co spowodowało ożywienie formy budynku, ale jednocześnie wprowadziło niepokój i wrażenie „porozrywanej” elewacji. Viollet le Duc wyraził się na ten temat w ten sposób: ... *psuje linię dachu i powoduje, że budynek sprawia wrażenie ruin* (Mączyński Z., 1956), (ryc. 5).

5. PORTUGALIA I KRAJE BASENU MORZA ŚRÓDZIEMNEGO

Wspaniałym przykładem wpływu wentylacji na kształtowanie form architektonicznych są portugalskie kominy (ryc.6.). Portugalia jest krajem, gdzie o majętności danego rodu i jego pozycji świadczył komin. Oczywiście w czasach współczesnych odchodzi się od tego zwyczaju, niemniej jednak

taka tradycja trwała przez wiele wieków i przyniosła rozkwit różnorodnych form kominów, przypominających raczej rzeźby niż zakończenie przewodów wentylacyjnych, o jasnej i klarownej funkcji (Detail 1982)

Bardzo szczególną formą architektoniczną stało się zwieńczenie najwyższych wież pałacu w Sintrze. Zapewne było to spowodowane panującą tam wspomnianą tradycją. Otóż wieże zostały przykryte stożkowymi dachami, których zwieńczeniem są wysokie kominy o przekroju okrągłym, umieszczone w najwyższym punkcie. Zarówno pokrycie dachu jak i kominy zostały wykonane z kamiennych kręgów, co sprawia wrażenie połączenia tych dwóch elementów w nową, jednolitą formę (ryc. 7).

W Chorwacji można również zaobserwować ciekawe rozwiązania kominów. Myślę tu przede wszystkim o wiejskich zabudowaniach gospodarczych w południowej Chorwacji, gdzie obok budynku mieszkalnego, znajdują się charakterystyczne wędzarnie ryb, zwieńczone wspianymi kamiennymi kominami. Inne zaś, murowane z cegły i kamienia, nawiązują do rozwiązań europejskich i charakteryzują się niebywałą prostotą i "smakiem" (ryc. 8).

Na szczególną uwagę zasługują włoskie rozwiązania systemu wentylacji nawiewnej, które występują między innymi w Willi Rotonda powstałej w 1566 roku w miejscowości Vicenza oraz w Willach Costozza znajdującej się niedaleko Vicenz'y. Wentylacja Willi Rotonda odbywa się poprzez nawiew dolny do części podziemnej budynku, gdzie powietrze zostaje schłodzone, a następnie przepływa ono przez centralnie umieszczony kanał, będący rdzeniem budynku, do pomieszczeń użytkowych. Wewnętrzny mikroklimat kształtują również cztery, dużych rozmiarów loggie, umieszczone po jednej na każdej elewacji. Zacieniają one wejścia do budynku oraz pełnią rolę ochrony przed gorącymi promieniami słońca, wpływającego do wewnątrz powietrza (ryc. 9, 10).

Wille Costozza są przykładem wyrafinowanego systemu wentylacji nawiewnej. System został zbudowany w oparciu o istniejące w pobliżu budynków jaskinie. Wloty do jaskiń znajdował się zawsze powyżej obiektów, co zapewniało dopływ świeżego powietrza, które w zimnych, ciemnych grotach, schładzając się przepływało w dół. Powietrze dostawało się do budynków przez kanały wentylacyjne, zakończone marmurowymi rzeźbionymi rozetami, umieszczonymi w posadzce kondygnacji mieszkalnych (Gaczoł.T., 2002)

6. ARCHITEKTURA IRAKU

Charakterystyczną cechą architektury Iraku są tzw. malkafy, czyli łapacze wiatru. Są to odpowiednio ukształtowane otwory przewodów wentylacji nawiewnej biegnących od dachu do najniższej kondygnacji. Domy są adekwatnie usytuowane w stosunku do kierunku dominujących wiatrów, tak aby malkafy w jak największym stopniu mogły przyczynić się do wentylacji pomieszczeń i obniżenia temperatury wewnętrznego powietrza nawet o 20°C (ryc.11, 12).

Włoczone przez wiatr powietrze biegnąc w dół schładza się od zimnych, grubych murów przewodów wentylacji nawiewnej, a przy jego wylocie ustawiane są dzbany z wodą, która wzbogaca parametry napływającego powietrza (Kozłowski D., 1990, Behling S.S., 1996).

7. ZAMEK KRZYŻTOPÓR I ARCHITEKTURA POLSKA

W Polsce kominy opracowane są na ogół skromnie, jedynie w zamkach renesansowych oraz w późniejszych pałacach, stanowią bogatszą formę.

W ścianach zamku Krzyżtopór znajduje się wiele przewodów dymowych, a także wentylacyjnych, służących do wentylacji pomieszczeń, znajdujących się przede wszystkim w piwnicach. Przewody dymowe prowadzone na dolnych kondygnacjach, w grubości ściany, na poddaszu, często odchodziły od płaszczyzny pionowej murów i wychodziły ponad ich koronę, tworząc oddzielne konstrukcje w postaci filarów kominowych, ułożonych w ostrołuczny łęk, zwieńczony kominem w kształcie walca. Obecnie, jedyne zachowane filary kominowe przewodów dymowych znajdują się w czterech narożnych wieżach tego zamku (Kusionowicz T., 1991), (ryc. 13).

Kominy dworów i dworków miejskich były przeważnie proste, niekiedy tylko o podziale poziomym na cokół, trzon i zwieńczenie. Niektóre dwory polskie wyróżniały się swą sylwetą dzięki umieszczeniu w kalenicy tzw. belwederowi, który w formie attyki znajdującej się w najwyższej części dachu ukrywał przewody wentylacyjne i kominowe (Jaroszewski T.S., 1993), (ryc.14).

8. ANTONI GAUDI - CASA MILA ORAZ CASA BATLLO

Dom Casa Batlló w Barcelonie stał się cudem w latach 1904-1906, gdy na prośbę właściciela Gaudí „trochę” go przerobił. Poniższe zdjęcia to dowód na to, że Gaudí wszystko przekształcał w cuda – nawet kominy i otwory wentylacyjne, tu o charakterystycznych kształtach, obłożonych kolorową ceramiczną mozaiką (ryc. 15).

Drugim z budynków zaprojektowanych przez Antoniego Gaudiego, na jaki natrafimy spacerując po Passeig de Gracia, jest Casa Milà (Dom Milà) zwana również La Pedrera (Kamieniołom). Został zaprojektowany i wykonany przez Gaudiego dla przedsiębiorcy Pedre Mili i jego żony. Zachwyca pofalowaną fasadą, stylem, kolorami i dachem, najeżonym kominami, zwanymi "straszakami na wiedźmy", kształtem przypominające dym. Ten secesyjny budynek wzniesiony w latach 1906-1910, niestety nie został dokończony z powodu zatargów Gaudiego z inwestorem (ryc. 16).

9. NORMAN FOSTER – COMMERZBANK TOWER WE FRANKFURCIE

Bank we Frankfurcie jest 62-kondygnacyjnym wieżowcem o wysokości 254 m. Jego rzut poziomy oparty jest na rzucie trójkąta równobocznego z lekko wypukłymi bokami i obłymi narożnikami. Rdzeniem wieżowca jest wewnętrzne atrium biegnące przez całą jego długość. Co dwanaście kondygnacji pojawiają się czteropiętrowej wysokości oranżerie, wspomagające naturalną wentylację, a jego cylindryczna forma, powoduje korzystny rozkład ciśnienia wiatru na zewnętrznej fasadzie w związku z tym prawidłowo funkcjonuje wentylacja poprzeczna budynku (Detail 1997). Naturalna wentylacja wieżowca nie odbywa się tylko dzięki podwójnej, zewnętrznej fasadzie ale także z wykorzystaniem fasady wewnętrznej od strony atrium. Zewnętrzne przeszklone i termoizolacyjne pokrycie budynku, wykonane z 8mm grubości szkła, posiada szczeliny doprowadzające i odprowadzające powietrze. Wewnętrzną powłokę, stanowią uchylne okna oraz 1.5 metrowej wysokości materiał termoizolacyjny i ognioodporny, chroniący konstrukcję budynku. Pomiędzy dwiema powłokami znajdują się również pionowe żaluzje, umożliwiające regulację oświetlenia pomieszczeń oraz temperatury przepływającego wewnątrz fasad powietrza. Model obiektu został również poddany badaniom symulacyjnym przepływów powietrza wokół niego i wpływu tych przepływów na występujące wewnątrz prędkości ruchu mas powietrza (ryc. 17). Wentylacja obiektu jest podyktowana zewnętrznymi warunkami atmosferycznymi, porą dnia oraz roku i została przedstawiona na zamieszczonym poniżej schemacie (ryc. 18).

10. RENZO PIANO – CENTRUM KULTURALNE W NOUMEI

Warunki klimatyczne takie jak temperatura, wilgotność, przeważające kierunki wiejących wiatrów oraz ich prędkość, zdecydowały o wyborze kształtu bryły obiektu w Centrum Kulturalnym Jean-Marie Tjibaou w Noumea'i. Obiekt został zaprojektowany tak, aby swym kształtem oraz materiałem, przypominał tradycyjną miejscową architekturę. Aerodynamiczne, wystające ponad zieleni rękawy są elementem wzmagającym naturalny przepływ powietrza wentylacyjnego oraz zapewniają stabilność konstrukcji całego obiektu, podczas wiejących na tym terenie cyklonów. Całą ideę pionowego i poziomego przepływu powietrza, przedstawiono na schematach rysunkowych (ryc. 19).

11. RICHARD ROGERS

Komputerowe badania przepływu powietrza wykorzystuje się również do stworzenia optymalnych warunków wentylacji, wewnętrznych przestrzeni obiektu. Tego typu symulacje są prowadzone pod-

czas powstawania budynku w fazie projektowej oraz w trakcie użytkowania obiektu w zależności od pory dnia, pory roku, temperatury zewnętrznej, nasłonecznienia, wiejących wiatrów itd. Budynki na miarę XXI wieku są sterowane elektronicznie i to właśnie komputer decyduje o ilości otwartych okien, czy rozsuniętym dachu. Istnieje oczywiście pewne niebezpieczeństwo w takim podporządkowaniu się nowoczesnej elektronice, ponieważ zawsze może nastąpić awaria systemu co spowoduje zamknięcie dopływu powietrza. Z drugiej zaś strony jeżeli system jest kontrolowany w sposób ciągły przez człowieka i dodatkowo istnieje możliwość indywidualnej regulacji przepływu powietrza, to tego typu rozwiązania zapewniają nam komfort pracy poprzez wykorzystanie naturalnych sposobów wentylacji (ryc. 20).

Budynek, który pod względem swej elektronicznej „inteligencji” jest zapewne budynkiem trzeciego tysiąclecia, to siedziba firmy Daimler AG, znajdująca się na Placu Poczdamskim w Berlinie (Behling S.S., 1996).

12. NEGATYWNE PRZYKŁADY WSPÓŁCZESNE.

„Renowacja „Contact Theatre” w Manchesterze zaskakuje z wielu powodów i co ciekawe nie dających się łatwo sklasyfikować. Na pierwszy rzut oka zauważa się zaskakujące kominy z cegły, mające ponad 40 metrów wysokości. Współczesna struktura budynku jest prawdopodobnie unikalna w skali europejskiej, gdyż została tak zaprojektowana, aby zapewnić przewietrzanie oraz wentylację grawitacyjną obiektu w sposób naturalny (ryc. 21 oraz 22).

W podobny sposób została oszpecona jedna z poznańskich kamienic, która na skutek niedrożnych przewodów wentylacyjnych i spalinowych, otrzymała szereg nowych kominów wykonanych ze stali nierdzewnej, „na szczęście” umieszczonych od strony oficyny. W efekcie kominy zdominowały elewację, tworząc porażający widok. Nasuwa się pytanie: kto wydał na to zgodę? (ryc.23)

13. WNIOSKI

Po przeprowadzonej analizie nasuwają się poniższe wnioski:

- od najdawniejszych czasów zagadnienia wentylacji towarzyszą człowiekowi w jego codziennym życiu,
- w czasach panowania kultury egipskiej spotykamy się z dobrze zaprojektowanym i wykonanym systemem wentylacji grawitacyjnej,
- systemy wentylacji miały ogromny wpływ na kształtowanie formy obiektów,
- prawdziwy rozkwit form architektonicznych nastąpił w okresie gotyku, później w renesansie, gdzie komin urósł do roli elementu architektonicznego decydującego nieraz o formie budynku,
- w pewien sposób zagadnienia wentylacji wywarły wpływ na ludzką świadomość w niektórych rejonach południowej Europy, bowiem komin jako integralna część pieca i symbol ogniska domowego stanowił wizytówkę rodu, określając jego zamożność i przynależność do klasy społecznej,
- systemy wentylacji kształtują formy architektoniczne w zależności od panującego klimatu i kultury w Iraku będą to malkafy,
- zewnętrzne formy budynków, podyktowane systemem ich wentylacji, są charakterystyczne dla danego regionu,
- w krajach gdzie panuje klimat podzwrotnikowy lub tropikalny, systemy wentylacji służą do schładzania budynków,
- potrzeba prawidłowej wentylacji, wywiera również wpływ na lokalizację obiektów oraz usytuowanie względem przeważających kierunków wiatru,
- niektóre rozwiązania tradycyjne, zostały przyjęte przez współczesną architekturę: pionowe lub skośne przewody wentylacyjne (wykorzystujące, do przepływu powietrza, poziom wyrównania ciśnień, znajdujący się powyżej poziomu wentylowanego pomieszczenia), układy atrialne budynków oraz duże, zacieniająca wysięgi okapów,

- złe podejście do projektowania kierowane tylko chęcią spełnienia przepisów normatywnych dotyczących wentylacji naturalnej ,a zwłaszcza grawitacyjnej może doprowadzić do deformacji bryły budynku lub do jej oszpecenia,
- mając w historii tyle fantastycznych przykładów z różnych regionów świata, niejednokrotnie nie potrafimy z nich korzystać w naszej pracy projektowej.

BIBLIOGRAPHY

CASA BATTLO, Architektura, Sztuka XX wieku, <https://cudaswiata.wordpress.com/2008/02/08/antoni-gaudi-casa-batllo/>, dostęp / access 8.02.2008.

CASA MILA a.k.a LA PEDRERA - Gaudi's World Famous UNESCO World Heritage Building in Barcelona, <https://www.thetravelpockets.com/new-blog/casa-mila-la-predada>, dostęp / access 11.02.2022.

CASA MILA, <https://comicsandcatalonia.wordpress.com/2015/08/22/the-final-countdown-part-1-feat-zumba-in-a-thunderstorm-wave-jumping-and-of-course-comics/>, dostęp / access 25.08.2015.

CHATEAU CHAMBORD, <http://www.digitalhit.com/posters/p/3645292>.

<http://wallpaperstravel.com/view/chateau-de-chambord-france-1920x1200-travel.html>, dostęp / access 15.01.2022.

CONTACT THEATRE, *Studio, Technical Synthesis*,

<https://howtobecomeanarchitect.wordpress.com/tag/contact-theatre/>, dostęp / access 9.04.2010

FOCUS ON ZINC, *Świat teatralnej wyobraźni*. nr 5, str. 20.09.2000.

GACZOŁ T.2002. *Wentylacja jako czynnik kształtowania architektonicznego*. PK Wydział Architektury, Kraków.

HAWASS Z., *News on the Robot and the Secret Doors inside the Great Pyramid of Khufu*, http://www.guardians.net/hawass/articlesnews_on_the_robot_Dec_2005.htm, 12.2005.

KOZŁOWSKI D.1990. *Dawny dom iracki*. Kraków.

KUREK J. *Zamek Krzyżtopór w Ujeździe jako część dziedzictwa światowego*. Kraków 2017.

KUSIONOWICZ T.1991. *Rozwiązania budowlane rezydencji magnackich I połowy XVII wieku na przykładzie Zamku Krzyżtopór w Ujeździe*. Politechnika Krakowska, Kraków.

MAĆZEŃSKI Z 1956. *Elementy i detale architektoniczne w rozwoju historycznym*. Warszawa, s. 293-296.

Miesięcznik "Murator", kwiecień 1993. Jaroszewski T.S. *Jak ma być postawiony nowy dwór polski*

Miesięcznik „DETAIL”, marzec 1982.

Miesięcznik „DETAIL”, marzec 1997 *Double Facades - Essential for High - Rise Blocks ?*, str. 301.

NATIONAL PALACE OF SINTRA, <https://visitworldheritage.com/en/eu/national-palace-of-sintra/6daca8d3-a40c-4333-9608-0a34e5de5d30>, dostęp / access 22.01.2022.

AUTHOR'S NOTE

Is a graduate of the Cracow University of Technology Faculty of Architecture. He has been employed at the post of adjunct professor since 2000. He teaches General Construction as a part of the Architecture course at the Cracow University of Technology in the Chair of Construction Design. He engages in teaching and research into natural building ventilation systems and air flow around buildings. He is an author of articles in academic journals and conference proceedings. In parallel to research and teaching, he manages a design practice. His body of work includes around a dozen buildings.

O AUTORZE

Jest absolwentem Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej. Od 2000 roku do chwili obecnej, pracuje na stanowisku adiunkta. Prowadzi zajęcia z Budownictwa Ogólnego na kierunku Architektura Politechniki Krakowskiej w Katedrze Projektowania Budowlanego. Zajmuje się pracą dydaktyczną oraz naukowo-badawczą nad systemami naturalnej wentylacji budynków i przepływem powietrza wokół obiektów. Jest autorem artykułów w czasopismach naukowych oraz w wydawnictwach konferencyjnych. Równocześnie z pracą naukowo-dydaktyczną, prowadzi praktykę projektową. Dorobek projektowy obejmuje autorstwo kilkunastu budynków.

Contact | Kontakt: tgaczol@pk.edu.pl