

# Budynki z podwójną fasadą – zagadnienia architektoniczne i optymalizacja energetyczna



dr hab. inż. arch.

**MAREK ADAM WOŁOSZYN, PROF. ZUT**

Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie

Wydział Architektury

ORCID: 0000-0001-5860-6468

Architekci od lat 90. ubiegłego wieku coraz częściej stosują rozwiązanie polegające na projektowaniu podwójnej fasady (*double skin*) we współczesnych budynkach, głównie użyteczności publicznej. Dodana, druga fasada daje wiele możliwości w zmianie charakteru i kształtowaniu wyrazu formalnego projektowanego budynku. Poszukiwania w tym zakresie są coraz ciekawsze.

Daje się zauważyć coraz częstsze stosowanie podwójnej fasady (*double skin*) w projektowaniu współczesnych budynków, głównie użyteczności publicznej. Architekci od lat 90. XX wieku stosują to rozwiązanie coraz częściej, są zauroczeni nowymi możliwościami rozwiązań estetycznych i energetycznych budynku. Jeśli pierwsza fasada jest właściwą obudową zaprojektowanej kubatury, to druga pozwala na znaczne oderwanie się od tego zadania. Ta druga fasada (druga skóra) może być całkowicie niezależna od kształtu bryły, która kryje się za pierwszą fasadą, co pozwala na dowolne i swobodne kształtowanie zewnętrznego obrazu architektonicznego projektowanego budynku. Pozwala ona na maskowanie, upiększanie i odmienianie pierwotnej formy, która jest obudowana pierwszą fasadą. Oczywiście podnosi to koszty realizacji obiektu, ale jest frapujące i daje wielką swobodę projektantowi, który może w zewnętrznym wyrazie obiektu całkowicie „zamaskować” jego prawdziwy kształt i charakter.

Pozostaje też pytanie, czy jeśli owa „druga skóra” generuje zwiększenie kosztów budowy, to czy nie można byłoby dzięki niej zmniejszyć kosztów eksploatacji obiektu? Najczęściej owa „druga skóra” jest rodzajem szklanej ściany kurtynowej o własnej konstrukcji nośnej potężnej z konstrukcją właściwego obiektu w celu poprawienia stabilności.

Architekt, projektując „drugą skórę”, zwłaszcza gdy ma ona też odgrywać inną rolę niż tylko dekoracja i ewentualnie bariera akustyczna, staje przed wieloma

pytaniami natury architektonicznej, konstrukcyjnej i związanych z energią cieplną budynku. W artykule poruszono zagadnienia architektoniczno-konstrukcyjne oraz przede wszystkim z fizyki budowli i energii cieplnej budynku. Pominęto zagadnienia akustyczne i konstrukcyjne. Na zagadnienia energetyczne mają wpływ różne możliwe rozwiązania podwójnej fasady:

- Czy „pierwsza skóra” ma spełniać normowe wymagania cieplno-wilgotnościowe, czy dopiero druga?
- Czy przestrzeń powietrzna między dwiema ścianami ma być szczelna czy wentylowana?
- A jeśli ma być wentylowana, to w jakim zakresie i jakimi rozwiązaniami to spełnić?
- Jak wykorzystać ciepłe powietrze z przestrzeni między dwiema fasadami do systemu wentylacji i ogrzewania w budynku?
- Jak zapobiegać przegrzewaniu budynku w okresie letnim?

Istnieje już bogata literatura światowa i polska poświęcona temu tematowi, m.in. [1–13], lecz odczuwa się brak pomocnych opracowań, które ułatwiłyby projektowanie podwójnych fasad pod względem optymalizacji energetycznej. Efektem tego jest duża różnorodność rozwiązań podwójnych fasad, ze słabo rozwiązanymi lub zupełnie pominiętymi zagadnieniami energetycznymi. Zaprojektowanie podwójnej fasady z mniej lub bardziej wentylowaną przestrzenią między fasadami i jakimś systemem zacielenia nie jest opracowaniem optymalnego rozwiązania zagadnień energetycznych.

Sugerowane problemy dotyczą budynków realizowanych w klimacie polskim, umiarkowanym – chłodnym, gdzie występuje 7-miesięczny okres grzewczy i 5-miesięczny okres ciepły.

Stosując podwójną fasadę (*double skin*), należałoby tak ją zaprojektować, by optymalnie, w okresie chłodnym, wykorzystywać ciepłe powietrze z przestrzeni między dwoma fasadami/skórą i zyski bierne z insolacji, a w okresie ciepłym zacielenia, wentylować – schładzać przestrzeń między dwoma fasadami. Dodatkowo należałoby dążyć do redukcji tradycyjnych systemów grzewczych zimą i zastępowania ich rozbudowanymi, skojarzonymi systemami maksymalnie wykorzystującymi energię cieplną powstałą w przestrzeni międzyfasadowej. Zjawisko to jest opisywane w literaturze zajmującej się wykorzystaniem energii promieniowania słonecznego w budownictwie jako bierny (pasywny) system zysków z promieniowania słonecznego [8, 9, 11]. Optymalizacja zysków energetycznych z zastosowania podwójnej fasady jest możliwa bez zmniejszania właściwości estetycznych drugiej, zewnętrznej fasady. Większość literatury tematu dotyczy obiektów zlokalizowanych w strefach ciepłych, gdzie więcej energii zużywa się na klimatyzację niż na ogrzewanie [10].

## Podwójna fasada – problemy architektoniczne

We współczesnej architekturze coraz częściej zauważa się stosowanie podwójnej fasady (*double skin*) jako interesującego rozwiązania architektonicznego. To rozwiązanie

daje wiele ciekawych możliwości estetycznych, ale jest też technicznym i energetycznym zagadnieniem, które należy prawidłowo rozwiązać. Architekci próbują rozwiązywać problemy dotyczące „podwójnej skóry” budynków na coraz większą skalę. Istnieje już wiele ciekawych realizacji architektonicznych, lecz, zdaniem autora, niedostatecznie wykorzystane są możliwości energetyczne związane z tego typu rozwiązaniami.

### Zagadnienia estetyczne

Pierwsza, właściwa fasada jest szczerelnym obudowaniem zaprojektowanej kubatury, spełniającym wymagania izolacyjności cieplnej i kontroli przenikania do budynku światła dziennego. Więc „druga skóra” jest elementem dodanym do tej właściwej, pierwszej „skóry” (fasady). Jeżeli ta „druga skóra” nie pełni żadnej funkcji konstrukcyjnej, a jedynie dekoracyjną, to można ją tak kształtować, że za jej pomocą architekt może zmieniać wyraz estetyczny budynku. Początkowo „drugą skórę” projektowano jako strukturę równoległą do pierwotnej fasady i odsuniętą od niej o ok. 20–120 cm [10]. Najczęściej była to konstrukcja stalowa/aluminiowa wypełniona szkłem, a w przestrzeniach pomiędzy pierwszą a drugą skórą były konstruowane pomosty techniczne dla konserwacji obydwo. Po pewnym czasie stosowania „podwójnej skóry” jako elewacji budynków daje się zauważyć takie rozwiązania drugiej fasady, które nie są równoległe do pierwszej, a stają się zupełnie swobodne, do tego stopnia, że zafaszowują pierwotny kształt bryły architektonicznej, na której zostały zamontowane. Od strony estetycznej jest to nowe, ciekawe działanie wykorzystujące niezależność „drugiej skóry” od konstrukcji właściwej bryły. Okazało się, że za pomocą „drugiej skóry” można zmieniać kształt i wyraz pierwotnej bryły architektonicznej (rys. 1a, b). Dodana fasada zewnętrzna („druga skóra”) może całkowicie zafaszowywać architekturę pierwotnej bryły budynku i to zaczęli wykorzystywać współcześni architekci.

Oczywiście do tego celu należy dobierać różne typy szkła i konstrukcji tych ścian. Liczba dostępnych dziś kombinacji szklenia i możliwości konstrukcyjnych ściany kurtynowej jest oszałamiająca. Daje to architektom pełną paletę możliwości wyboru parametrów i estetyki – mogą wybrać najbardziej odpowiednie szklenie pod względem wydajności, grubości, wymiarów, odporności termicznej i mechanicznej (trwałości), ochrony przeciwsłonecznej, koloru itp. [2, 7, 9].

### Zagadnienia konstrukcyjne

W celu wykorzystania drugiej elewacji do zmiany formy bryły pierwotnej projektant musi zaprojektować niezależną konstrukcję dla tej elewacji. Jeśli pierwotnie druga elewacja była strukturą równoległą do elewacji pierwotnej, to jej usztywnienie mogło być



Ryc. 1. a) Budynek z drugą skórą równoległą do pierwszej elewacji (Cristallin, Boulogne Billancourt, Francja. Architekci: AZC); b) prosty budynek kubiczny obudowany drugą elewacją w formie swobodnego „kryształu” (Building, Vitoria-Gasteiz, Hiszpania. Architekci: Coll-Barreu Arquitectos)

rozwiązane na zasadzie utwierdzenia w konstrukcji budynku. Gdy kształt „drugiej skóry” ma być bardzo swobodny, to zarówno jej struktura, jak i usztywnienie w większości przypadków są samoistną konstrukcją, niezwiązaną z pierwotnym budynkiem. Te problemy są rozwiązywalne, choć oddziałują na koszty obiektu.

### Zagadnienia energetyczne

Przy projektowaniu „drugiej skóry” dla obiektu architektonicznego powstaje wiele problemów i pytań związanych z zagadnieniami energetycznymi. Pytania podstawowe:

- Czy projektując obiekt architektoniczny z zastosowaniem podwójnej fasady (podwójnej skóry), robimy to tylko ze względów estetycznych? Czy ponosząc zwiększony wydatek finansowy na podwójną fasadę, nie powinno się jej wykorzystać do poprawy bilansu cieplnego budynku w trakcie jego funkcjonowania, zarówno w formie biernej, jak i czynnej?
- Jaką koncepcję wykorzystania proenergetycznego wybieramy dla „podwójnej skóry”?

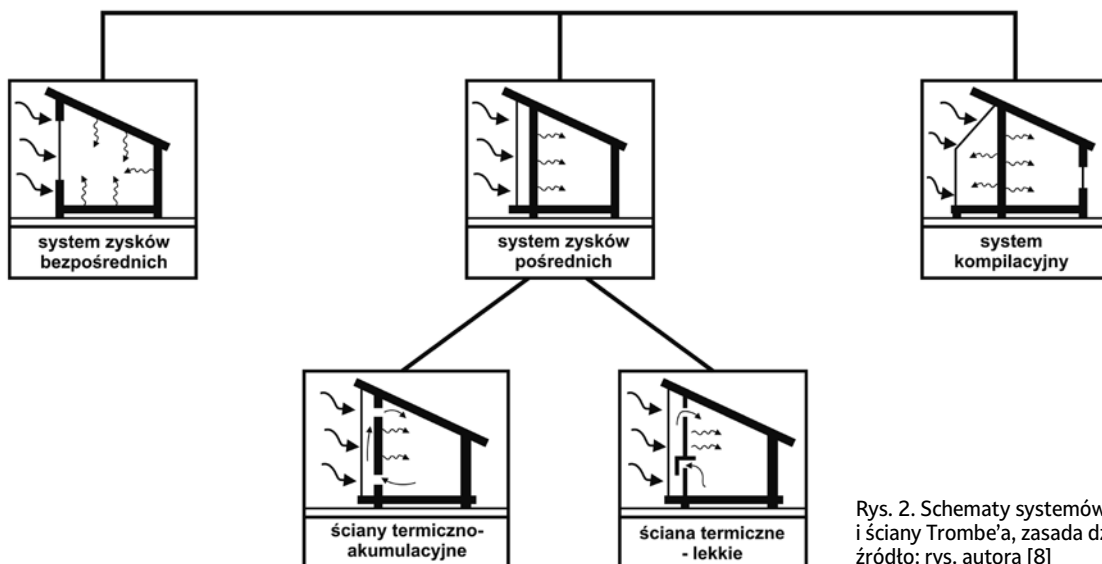
- Jakie parametry energetyczne winny mieć „pierwsza i druga skóra” projektowanego budynku, by zoptymalizować zyski?

Druga fasada, jak wspomniano, to najczęściej przegroda szklana w stalowej lub aluminiowej konstrukcji. W przestrzeni zamkniętej między fasadami zachodzi efekt cieplarniany. Zjawisko to może osiągać różne parametry zależnie od rozwiązań technicznych „pierwszej i drugiej skóry” (fasady). Takie rozwiązania jak istnienie lub jego brak izolacji cieplnej na pierwszej fasadzie, kolor i struktura pierwszej fasady, pojedyncze, podwójne lub potrójne oszklenie szkłem zespolonym w drugiej fasadzie (skórze) itd. będą miały istotny wpływ na zagadnienia energetyczne, z jakimi będziemy mieli do czynienia w przestrzeni między pierwszą a drugą elewacją.

Drugim elementem jest zapobieganie przegrzewaniu w okresie letnim – i tu również jest wiele opcji: jedne są związane z zastosowaniem różnych typów szkła refleksyjnego (antysolarnego), a drugie polegają na zastosowaniu różnych elementów fizycznych powodujących zacienianie [2]. Stosowanie szkła refleksyjnego zmniejsza



## SYSTEMY BIERNE



Rys. 2. Schematy systemów biernych i ściany Trombe'a, zasada działania; źródło: rys. autora [8]

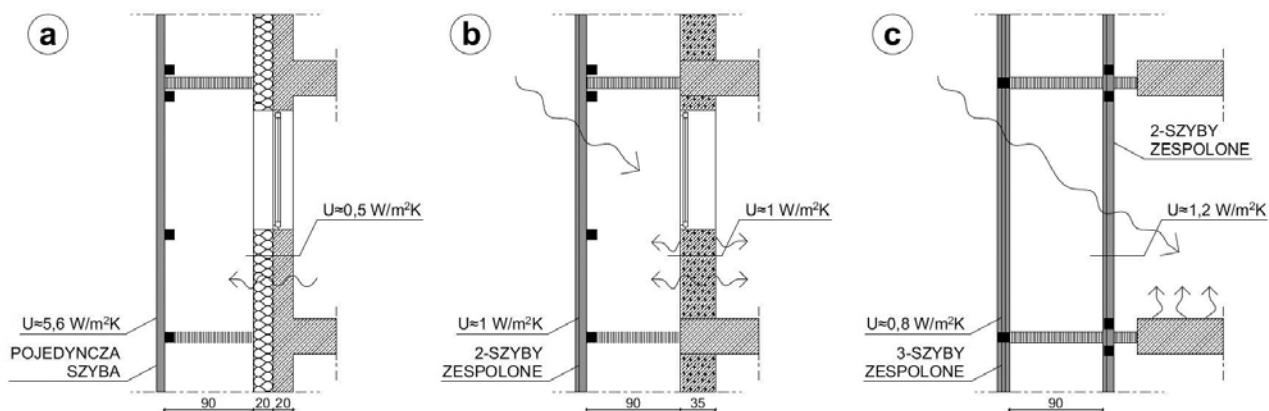
przenikanie promieni słonecznych do przestrzeni między fasadowej zarówno latem, jak i zimą. Przy czym zjawisko to jest korzystne latem, ale już niekorzystne zimą. Elementy zacinające mogą być stałe (co jest niekorzystne zimą) lub ruchome (co jest korzystniejsze zimą i latem). Nad zmianą położenia żaluzji może czuwać układ czujników i komputer lub można pozostawić to użytkownikom. Czy umieścić elementy zacinające wewnątrz pomieszczeń (łatwość konserwacji), czy w przestrzeni międzyfasadowej, czy też na zewnątrz? Częściej instaluje się zacinacze wewnątrz kanału powietrznego, ale tu z kolei istnieje zagrożenie, że gwałtowny wzrost temperatury, poprzez absorpcję dużej ilości energii promieniowania słonecznego, wywoła naprężenia termiczne w szkle,

co spowoduje jego pęknięcie – problemy, które sygnalizuje literatura, a które powinny być optymalnie rozwiązane i sugerowane projektantom [2].

### Maksymalizacja zysków energetycznych w przestrzeni podwójnej fasady (skóry). Double skin – jako forma ściany Trombe'a

W roku 1956 został opatentowany we Francji przez prof. Trombe'a wynalazek, zwany ścianą Trombe'a, który polegał na wybudowaniu od strony południowej, przed ścianą pełną, monolityczną, przeszklenia odsuniętego na ok. 15 cm, i wykorzystywaniu zachodzących tam zjawisk energetycznych do celów grzewczych pomieszczenia przyległego do

tej ściany. Później ten system został sklasyfikowany jako system bierny (pasywny) konwersji energii słonecznej przy wykorzystaniu ściany termiczno-akumulacyjnej. Zostały opracowane i przebadane różne materiały, z których konstruowano ową ścianę, takie jak: beton, cegła pełna, kamień, pojemniki z wodą, a nawet pojemniki z glikolem i solą Glauberską. W przestrzeni między płaszczyzną szkła a ścianą umieszczano różnego rodzaju zastony chroniące latem przed przegrzaniem, a zimą – dające dodatkową izolację cieplną. Wszystkie te zabiegi, łącznie z opracowaniem specjalnych otworów w ścianie, które zapewniłyby cyrkulację powietrza w przestrzeni między ścianą a oszkleniem, służyły poprawieniu sprawności energetycznej całego rozwiązania zwanego ścianą Trombe'a [8].



Rys. 3. Różne warianty pierwszej i drugiej fasady: a) druga fasada w formie pojedynczo szklonej ściany kurtynowej i z dobrze izolowaną ciepłnie pierwszą fasadą (najbardziej powszechny wariant, słabszy efekt „szklarniowy” i duże straty ciepłne z przestrzeni międzyewalacyjnej); b) druga fasada w formie ściany kurtynowej o lepszej izolacyjności ciepłnej i brakiem izolacji ciepłnej na pierwszej fasadzie (lepszy efekt „szklarniowy”, ściana pierwszej fasady staje się ścianą termiczno-akumulacyjną, całość działa jak ściana Trombe'a); c) druga fasada w formie ściany kurtynowej o bardzo dobrej izolacyjności ciepłnej, a pierwsza fasada jest również ścianą kurtynową o gorszej izolacyjności niż druga fasada (większe zyski bezpośrednie z insolacji i dobry efekt „szklarniowy”); źródło: rys. autora



Przez analogię do tych rozwiązań należy projektować „podwójną skórę” tak, by optymalnie uzyskać, a następnie wykorzystywać energię cieplną powstałą w przestrzeni między dwiema skórami (fasadami). W okresie letnim nadmiar energii cieplnej musi być usuwany do atmosfery, a systemy zacięcia muszą chronić budynek przed przegrzaniem.

Fasada zewnętrzna to ściana kurtynowa szklana, a fasada wewnętrzna może być ścianą tradycyjną, dwu- lub trójwarstwową (warstwa konstrukcyjna, warstwa izolacji cieplnej i warstwa elewacyjna lub tynk cienkowarstwowy na warstwie izolacji cieplnej) – (rys. 3a). Izolacja cieplna w takim układzie stanowi barierę dla ucieczki ciepła z wnętrza na zewnątrz, ale jednocześnie jest przeszkodą w akumulowaniu ciepła z promieniowania słonecznego w warstwie konstrukcyjnej. Szczególnie jest to istotne w ścianie południowej – przez analogię do ściany Trombe’a nie umieszcza się tam izolacji cieplnej na ścianie monolitycznej. Promieniowanie słoneczne przenika przez przegrodę szklaną i na warstwie zewnętrznej monolitycznej ściany, w fasadzie wewnętrznej, zamienia się w promieniowanie cieplne, które wnika w głąb tej ściany (rys. 3b). Pozwala to na ogrzewanie przylegających do niej pomieszczeń i magazynowanie energii cieplnej w ścianie. Warstwa izolacji cieplnej w tej ścianie nie pozwala na to, by zaistniało opisywane wyżej zjawisko. Izolacyjność cieplną ściany południowej w koncepcji podwójnej fasady (skóry) można poprawić przez zapewnienie dużej izolacyjności cieplnej w fasadzie zewnętrznej, szklanej i szczelnej przestrzeni między fasadami, zewnętrzną i wewnętrzną. Pozwoli to na wykorzystanie ciepła zmagazynowanego w ścianie wewnętrznej, a także na dodatkowe ciepło powstałe w przestrzeni między ścianami, które można wykorzystać choćby zarówno w systemach grzewczych budynku, jak i wentylacyjnych – to w okresie chłodnym (grzewczym).

Kolejnym wariantem jest fasada wewnętrzna jako szklana kurtyna i fasada zewnętrzna podobnie, również szklana kurtyna (rys. 3c). W tym przypadku także, w celu optymalizacji zysków cieplnych, należałoby projektować elewację zewnętrzną jako kurtynę szklaną o dużej izolacyjności cieplnej, a drugą, wewnętrzną, o mniejszej izolacyjności cieplnej, lecz nie z pojedynczej warstwy szkła. Szkło pojedyncze umożliwiłoby przenoszenie do wnętrza obiektu dużych wahań temperatury w przestrzeni między elewacjami. W tym rozwiązaniu istotne jest również stosowanie żaluzji i osłon zabezpieczających przed letnim przegrzaniem przyległego wnętrza. Dobra izolacyjność cieplna fasady zewnętrznej („drugiej skóry”) pozwoli na powstanie dużych zysków ciepła w przestrzeni między elewacjami co, podobnie jak w opisanym przypadku, pozwoli na wykorzystanie tego



Rys. 4: a) przykład nieszczelnej drugiej fasady wykonanej z jednowarstwowej szyby bezpiecznej (budynek Nanotechnologii ZUT w Szczecinie, arch. Studio A4 Szczecin), b) budynek biurowy w Berlinie; źródło – zdjęcia autora

rozgrzanego powietrza w systemach grzewczych i wentylacyjnych budynku. W okresie grzewczym miałyby to istotne znaczenie. Zimą można wykorzystać to ciepło np. jako dolne źródło ciepła dla pomp ciepła lub w innych rozwiązaniach grzewczych. W okresie ciepłym powiększyłoby to ilość energii potrzebnej do schładzania przestrzeni międzyfasadowej, szczególnie przy złym rozwiązaniu zacięcia tych przestrzeni.

W obydwu opisanych przypadkach należy umieszczać w przestrzeni między elewacjami wysokosprawne elementy pozwalające zaciąć wnętrze, a także umożliwić wentylację tej przestrzeni w okresie letnim poprzez wyprowadzanie rozgrzanego powietrza na zewnątrz.

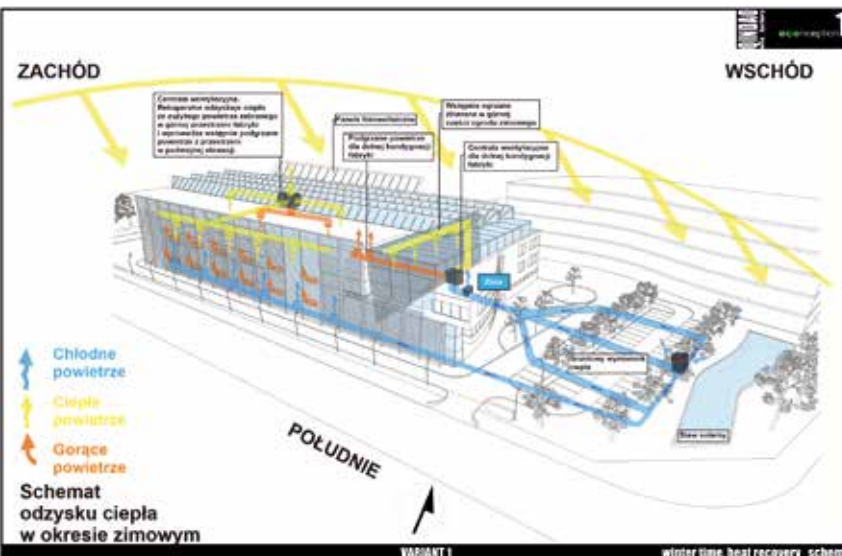
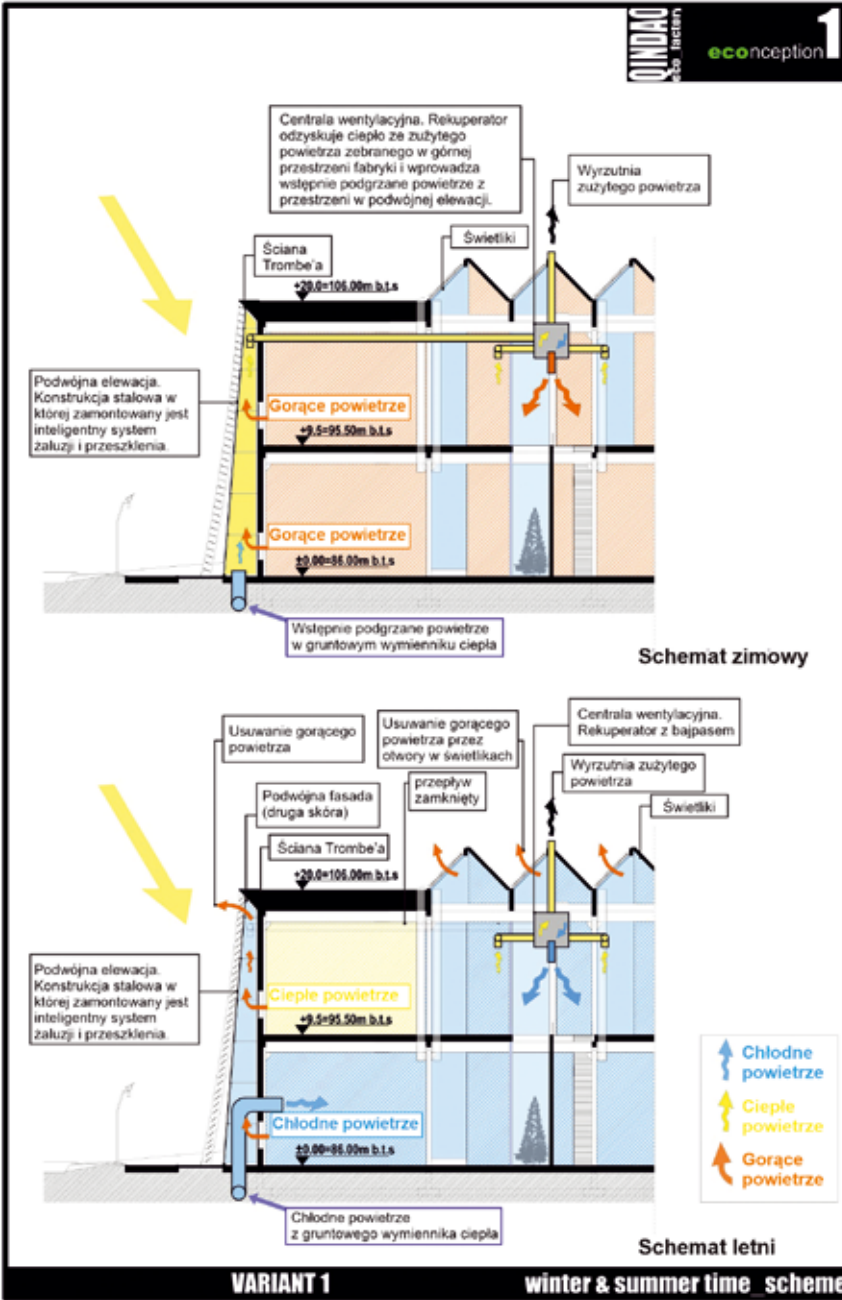
### Wykorzystanie zysków energetycznych uzyskanych w podwójnej fasadzie (double skin) w systemie wentylacji i ogrzewania budynku

Analiza wykorzystania energii cieplnej powstałej w przestrzeni między zewnętrzną a wewnętrzną elewacją dotyczy budynków zlokalizowanych w obszarze klimatu umiarkowanego chłodnego. W opisanych przypadkach dzięki podwójnej fasadzie zwiększamy izolacyjność cieplną budynku, a także otrzymujemy dodatkowo nagrzane powietrze w przestrzeni międzyfasadowej, które możemy wykorzystać w systemach grzewczych i wentylacyjnych budynku. Istotne jest wykorzystanie ciepła powstałego w przestrzeni podwójnej fasady w okresie jesieni, zimy i wiosny, a więc w okresie grzewczym (najczęściej – od 1.10. do 30.04.) [10].

Dzięki efektowi szklarniowemu powietrze w tej przestrzeni zawsze osiągnie wyższą temperaturę niż powietrze zewnętrzne. Dotyczy to ścian południowych, wschodnich

i zachodnich w budynkach. Jeżeli „drugą skórą” (fasada zewnętrzna) jest zaprojektowana w formie szczelnej przegrody, do której może wnikać powietrze zewnętrzne w dolnych (najniższej położonych) partiach tej fasady w sposób kontrolowany, to w górnych jej partiach dzięki konwekcji będzie gromadziło się powietrze nagrzane do wyższych temperatur niż międzyfasadowej, szczególnie przy złym rozwiązaniu wentylacji tych przestrzeni. W północnym i północno-wschodnim kierunku fasady w okresie letnim należy to powietrze wykorzystać do systemu grzewczego lub wentylacyjnego w budynku [10]. Zaczerpnięte ciepłe powietrze z górnych partii przestrzeni międzyfasadowej można wtłaczać do pompy ciepła jako dolne źródło ciepła lub do systemu wentylacji jako świeże powietrze wstępnie podgrzane. System wentylacji z rekuperatorem i takim źródłem świeżego powietrza pozwoliłby znacznie ograniczyć zużycie energii konwencjonalnej do ogrzewania budynków. By zwiększyć efektywność energetyczną systemu wentylacji, dodatkowo można wykorzystać gruntowy wymiennik ciepła w celu wstępnego ogrzania powietrza zewnętrznego, które następnie kierujemy do dolnej części przestrzeni międzyfasadowej. Wówczas wykluczamy bezpośredni napływ świeżego, mroźnego powietrza do tej części, a wprowadzamy powietrze zewnętrzne przez pośredni element, jakim staje się gruntowy wymiennik ciepła. Ponieważ grunt, poniżej strefy przemarzania, utrzymuje stałą temperaturę w granicach +70°C, to w okresie zimowym, gdy na zewnątrz jest ujemna temperatura, w wymienniku gruntowym podgrzewamy powietrze do wartości dodatnich. W pogodny zimowy dzień to wstępnie podgrzane powietrze ma szansę zostać podgrzane w przestrzeni międzyfasadowej do jeszcze wyższej temperatury. Tak przygotowane powietrze byłoby zbierane w kolektorze umieszczonym w górnej części przestrzeni międzyfasadowej i transportowane do rekuperatora.





Rys. 5. Projekt fabryki i budynku socjalno-biurowego w Qindao CHRL, arch. M. Wotoszyn i arch. P. Gradziński – współpraca: a) schemat skojarzonego działania systemu wentylacji z wykorzystaniem ciepłego powietrza powstającego w podwójnej fasadzie i wstępnego ogrzewania powietrza w gruntowym wymienniku ciepła; b) schemat wykorzystania ciepłego powietrza nagromadzonego w górnych partiach przestrzeni międzyelewacyjnej, w systemie wentylacji budynku latem (dolny schemat) i zimą (górny schemat); źródło – rys. autora

W rekuperatorze byłoby dogrzewane przez usuwane z budynku powietrze zużyte o temperaturze  $+200^{\circ}\text{C}$ . Wykorzystując ten złożony układ składający się z: gruntowego wymiennika ciepła, efektu szklarniowego w przestrzeni międzyfasadowej, rekuperatora – zużycie konwencjonalnych nośników energii w budynku zostaje ograniczone do niewielkich ilości. W taki sposób można wykorzystać energetyczne zjawiska, które ma budynek z podwójną fasadą, i sugerowany układ wentylacji.

### Jaka koncepcja wykorzystania podwójnej fasady w systemie energetycznym budynku, taka konstrukcja i rozwiązania tej ściany

Proponowane rozwiązania systemu wentylacji i ogrzewania budynku, które wykorzystują efekt szklarniowy w przestrzeni międzyfasadowej, w żaden sposób nie ograniczają rozwiązań architektoniczno-formalnych drugiej fasady (zewnątrznej). Należy jedynie zachować zalecenia dla rozwiązań technicznych, związanych z zagadnieniami energetycznymi. Podstawowe z nich wiążą się z możliwością uzyskania optymalnych zysków energetycznych w prezentowanym rozwiązaniu. Sformułowane w artykule zalecenia dla projektowania podwójnej fasady (double skin):

- zewnętrzna elewacja winna mieć niski współczynnik przenikalności cieplnej  $U_{\text{max}} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- zewnętrzna elewacja winna mieć szczerłą powłokę, uniemożliwiającą niekontrolowaną infiltrację powietrza zewnętrznego;
- konstrukcja i przestrzeń między fasadami powinny umożliwiać konserwację tych elewacji;
- do przestrzeni między fasadami winno dostawać się tylko powietrze kontrolowane, najlepiej tylko z wymiennika gruntowego;
- wewnętrzna fasada winna również mieć współczynnik przenikalności cieplnej zbliżony do  $U_{\text{max}} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- elewacje: południowa, wschodnia i zachodnia winny być

wyposażone w systemy zacielenia (zapobiegające przegrzewaniu z promieniowania słonecznego);

- w okresie letnim przestrzeń międzyfasadowa winna mieć możliwość wentylacji (usuwania nadmiaru rozgrzanego powietrza) i kontrolowanego napływu w dolnej części;

- w górnej części przestrzeni międzyfasadowej winien być zaprojektowany system zbierający ciepłe powietrze i przesyłający je do systemu grzewczego lub wentylacyjnego w obiekcie.

Taki system szczelnego zabudowania fasady zewnętrznej z kontrolowaną wymianą ciepłego powietrza przez niektórych jest określany jako aktywny. W przeciwieństwie do pasywnego, czyli takiego, gdzie wentylowanie przestrzeni międzyfasadowej zachodzi na zasadzie efektu kominowego ze swobodnym napływem powietrza przez dolne otwory i wypływem przez górne otwory.

## Wnioski

Zaprojektowanie budynku z podwójną fasadą daje wiele możliwości rozwiązań estetyczno-formalnych i energetycznych. O ile te formalne są już rozpoznane i coraz bardziej stosowane, o tyle te związane z zagadnieniami energetycznymi są traktowane niedostatecznie uważnie. Przedstawione badania wskazują, że dzięki drugiej elewacji zawsze występują dodatkowe zyski energetyczne. Celem artykułu było wykazanie, że te zyski można w łatwy sposób zoptymalizować. Optymalizacja polega na tym, by w okresie grzewczym uzyskać w przestrzeni międzyfasadowej jak najwyższą temperaturę powietrza. W górnych partiach tej przestrzeni gromadzi się ciepłe powietrze, które winno być zbierane i wykorzystywane do systemu grzewczego (np. pompa ciepła) bądź do systemu wentylacyjnego w budynku. Jednocześnie optymalizacja zysków energetycznych w przestrzeni międzyfasadowej nie ogranicza możliwości swobodnego kształtowania formy projektowanego budynku.

Architekt, decydując się na użycie podwójnej fasady w projektowanym budynku, musi mieć świadomość, że spowoduje to wzrost kosztów inwestycji. Z tego względu winien dążyć do tego, by zrekomensować ten bieżący wzrost kosztów długoterminowymi zyskami związanymi z tańszą eksploatacją obiektu, zmniejszonymi kosztami ogrzewania, a także

zmniejszonym obciążeniem dla środowiska. W okresie grzewczym ciepło powstałe w przestrzeni międzyfasadowej powinno być maksymalnie wykorzystywane do celów grzewczych budynku. Natomiast w okresie ciepłym przestrzeń międzyfasadowa powinna być swobodnie wentylowana, wspomagając wentylację przyległych kubatur. Proponowane rozwiązania są właściwe dla budynków zlokalizowanych w strefie klimatycznej umiarkowanej chłodnej.

Opisane dylematy projektowe i sugestie nie znajdują stosownych rozwiązań i zaleceń w literaturze tematu dotyczącej obiektów zlokalizowanych w klimacie umiarkowanym chłodnym. Większość literatury dotyczy obiektów zlokalizowanych w klimacie ciepłym lub gorącym, gdzie koszty chłodzenia są znacznie wyższe niż koszty ogrzewania.

## Bibliografia

- [1] Shameira M.A., Alghoub K., Sopian K., Perspective of Double Skin Facade systems in buildings and energy savings, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2011, No. 15.
- [2] Tymkiewicz J., Systemy osłon przeciwslonecznych – wady i zalety różnych rozwiązań, „Czasopismo Techniczne” 2011, z. 11, 2-A/2/2011, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- [3] Heim D., Optymalizacja fasad podwójnych pod kątem oszczędności energii i jakości środowiska wewnętrznego, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej – monografia Katedry Procesów Ciepłych i Dyfuzyjnych, Łódź 2013.
- [4] Heim D., Sprysch M.V., Romanowska A., Podwójna eksperymentalna fasada budynku uniwersyteckiego w Braunschweigu, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2006, z. 40, nr 229, s. 213–218.
- [5] Heim D., Jabłoński Ł., Charakterystyka termiczna fasad podwójnych o różnych zdolnościach do akumulowania ciepła, [w:] Problemy naukowo-badawcze budownictwa, t. III: Materiały, technologie i organizacja w budownictwie, Monografia KILW PAN, Białystok 2007, s. 177–184.
- [6] Heim D., Janicki M., Korzyści energetyczne zastosowania wentylowanych fasad podwójnych w warunkach klimatycznych Polski Środkowej, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2010, z. 54.
- [7] Janicki M., Heim D., Energetyczne efekty zastosowania w systemach DSF oszklenia o różnych właściwościach spektralnych, „Czasopismo Techniczne – Budownictwo” 2012, 2B/2012, Politechnika Krakowska, z. 3, s. 193–198.
- [8] Wotoszyn M., Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinnym, Wyd. COiB, Warszawa 1991.
- [9] Fasady ze skórą podwójną: wybór odpowiedniego zestawienia szkła dla optymalizacji płynących z ich zastosowania korzyści, „Świat Szkła” 2019, nr 08.
- [10] Pelletier K., Wood Ch., Calautit J., Wu Y. The viability of double-skin facade systems in the 21st century: A systematic review and meta-analysis of the nexus of factors affecting ventilation and thermal performance, and building integration, „Building and Environment” 2023, nr 228.
- [11] Bielak B., Klem J., Macak M., Psychological cavity of a double skin facade as a source of pre-heated air in the winter season for the heat recovery unit of a facade, „Slovak Journal of Engineering” 2019, nr 27(4), r. 7-10, December, s. 1–25.
- [12] Cao X., Nawa K., Song B., Kurosawa N.: The solar Heat Cutting Performance of Double-Skin Facades, „European Journal of Engineering and Technology Research” 2022, nr 7(3), s. 25–29.
- [13] Barone G., Vassiliades C., Elia Ch., Sawides A., Design optimization of a solar system integrated double-skin facade for a clustered housing unit, „Renewable Energy” 2023, nr 215 (17), July.

**Streszczenie:** Architekci od lat 90. ubiegłego wieku coraz częściej stosują rozwiązanie polegające na projektowaniu podwójnej fasady (*double skin*) we współczesnych budynkach, głównie użyteczności publicznej. Dodana, druga fasada daje wiele możliwości w zmianie charakteru i kształtowaniu wyrazu formalnego projektowanego budynku. Poszukiwania w tym zakresie są coraz ciekawsze. Zaprojektowanie drugiej fasady zwiększa koszty inwestycyjne obiektu. Należy dążyć do tego, by wykorzystać zjawiska związane z fizyką budowli do tego, by obniżyć koszty eksploatacji obiektu, w którym jest zastosowana druga fasada. W przestrzeni międzyelewacyjnej gromadzi się nagrzane powietrze, które można wykorzystać w systemie wentylacji i ogrzewania budynku. Jaki rodzaj rozwiązań projektowych jest optymalny pod względem energetycznym? Problemy występujące przy projektowaniu podwójnej fasady, by optymalnie rozwiązać zagadnienia energetyczne, dotyczą zagadnień związanych z fizyką budowli, helioenergetyką, wentylacją i klimatyzacją, nawet informatyką przy próbach tworzenia ściany inteligentnej.

**Słowa kluczowe:** architektura, budynek z podwójną fasadą, optymalizacja energetyczna budynków

## Abstract: DOUBLE SKIN IN BUILDINGS – ARCHITECTURAL AND ENERGY ISSUES.

Since the 1990s, architects have been implementing double-skin facades in their designs increasingly often, especially in public buildings. The second facade offers great potential to alter the character, shape and expression of a building. Exploration in this sphere are becoming increasingly interesting. Designing a double-skin facade increases a project's cost. Efforts should be made to take advantage of building physics phenomena to lower occupancy costs of buildings with double-skin facades. The space between the facade layers accumulates warm air, which can be used in the building's ventilation and heating systems.

**Keywords:** architecture, double skin in buildings, buildings energy optimization