

Zintegrowany proces projektowy w praktyce

Integrated design process – case study

WOJCIECH STEC, ANNA BAĆ, KRZYSZTOF CEBRAT

Praca, na wybranym przykładzie, omawia formę przeprowadzonych na etapie koncepcji architektonicznej optymalizacji budynku. Wskazuje, jaki wpływ miały analizy różnych strategii odnośnie do wentylacji, ogrzewania, chłodzenia, poziomu komfortu i doświetlenia wewnątrz, ilości przeszkleń i typów materiałów, na decyzje projektowe architektów i wytyczne stawiane przez inwestorów na etapie projektu budowlanego.

The work shows, on one example, how a building optimization was carried out during the design process of a single family detached house. It explains, what effect the analysis of ventilation, heating/cooling, thermal comfort and lighting strategies, have on the final architectural concept, as well as, how it influences the final costs of the building.

The paper identifies the benefits from applying the use of an integrated building design process and the use of optimization tools on the building quality. The study is based on the design of the single family detached house near Wrocław. The proposed design process allowed to size the great number of building elements in order to define the equilibrium in between the building costs, energy consumption, comfort, functionality, durability and architectural quality, – thus which are the most of the criteria which make the building to be truly sustainable.

dr inż. Wojciech Stec – Cundall Polska sp. z o.o.
dr inż. arch. Anna Bać – Zakład Projektowania Architektury Mieszkaniowej, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław; dr inż. arch. Krzysztof Cebart – Zakład Kształtowania Środowiska, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław

Zintegrowany proces projektowy w praktyce

Coraz częściej słyszane określenie „zintegrowany proces projektowy” (ZPP), budzi wśród projektantów mieszane uczucia.

Ciągle jeszcze pokutuje przekonanie, że tryb wykonywania projektu, gdzie architekt w porozumieniu z inwestorem ustala koncepcję funkcjonalno – przestrzenną budynku, która następnie trafia do dalszej obróbki przez projektantów branżowych, a po uwzględnieniu (bądź nie) ich uwag jest finalizowana w postaci projektu budowlanego – jest procesem zintegrowanym.

Nie jest jednak celem niniejszego artykułu omawianie ZPP jako takiego, lecz jedynie pokazanie jakie możliwości ze sobą niesie jego wprowadzenie. Nawet jeżeli dotyczy skali niewielkiej, a i sam proces został uproszczony do niezbędnego minimum.

Jako autorzy mieliśmy to szczęście, że w przypadku projektu, który poniżej w szczegółach zostanie omówiony, w dwóch osobach zawarliśmy funkcje głównego projektanta, inwestora, instalatora i wykonawcy optymalizacji i symulacji komputerowych, co niesłychanie uprościło całą procedurę projektowania. Szczególnie, że zakłada ona przecież, możliwie częste konferencje ze wszystkimi podmiotami zaangażowanymi w projekt.

Studium przypadku

Tematem projektu był dom jednorodzinny dla cztero-, pięciorodzinnej rodziny, zlokalizowany w jednej z podwrocławskich miejscowości.

Wstępne wymagania inwestora określone były jasno: powierzchnia około 150 m², zużycie energii zbliżone do parametrów domu pasywnego, ale w przystępnych kosztach i nietuzinkowej, śmiałej architekturze, z rozdzielaniem części dziennej od sypialnej, ochroną przed hałasem z drogi od północy i otwarciem domu na południe w stronę pól (co przy wąskiej działce na osi północ-południe przeciętej siecią energetyczną było dużym wyzwaniem).

Co chyba jednak okazało się najtrudniejsze, to wymóg osiągnięcia komfortu użytkownika za pomocą najprostszych i ekonomicznie uzasadnionych rozwiązań. Wreszcie, po wstępnych analizach energetycznych, kiedy wybór inwestora padł na wykorzystanie kotła na biomasę, pojawił się dodatkowy wymóg zapewnienia odpowiedniej przestrzeni na suszenie, ścinanie, składowanie biomasy oraz na ergonomiczny załadunek kotła.

W początkowej – koncepcyjnej fazie projektu – inwestorowi przedstawiono dwie, zasadniczo różniące się koncepcje funkcjonalno-przestrzenne, potencjalnie spełniające jego wymagania. Jedną w postaci obiektu dość rozległego, ale jednobryłowego i parterowego (rys.1.), drugą – obiektu piętrowego z wyraźnie zarysowanymi dwiema częściami (rys.2.).

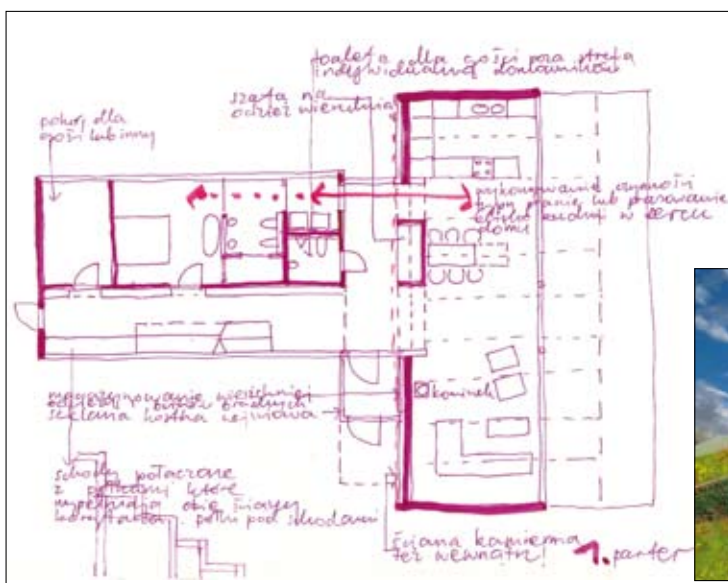
Wybrano (oczywiście) tę trzecią (rys.3.), z wyraźnie oddzielnymi częściami wspólną i indywidualną, częściowo piętrową



Rys. 1.
Konceptja nr 1 – jednobrytowa



Rys. 2.
Konceptja nr 2 – dwubrytowa



Rys. 3.
Ostatecznie zaakceptowana koncepcja



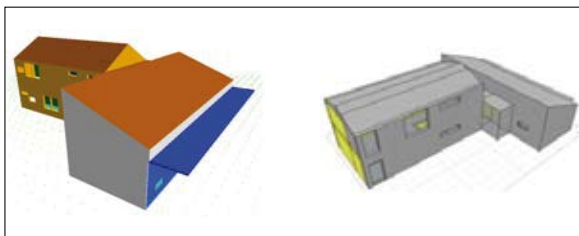
oraz zorientowaną w sposób umożliwiający korzystanie pasywne z bezpośredniej energii słońca.

Gdy wstępny (wspólny!) wybór został dokonany, przystąpiono do kolejnej fazy projektu, czyli równoległego: opracowania budynku w szczegółach i sprawdzania jaki wpływ mają proponowane przez architektów rozwiązania na zużycie energii, komfort termiczny i doświetlenie pomieszczeń światłem dziennym. Podkreślamy – równoległego, tzn. propozycje udoskonaleń padały zarówno ze strony architektów, jak i inwestora, który w tym przejął rolę osoby dokonującej analiz; były wspólnie dyskutowane, a następnie wybierane były te optymalne z punktu widzenia założeń inwestycji.

Optymalizacja projektu

Wymienione wcześniej kryteria (zużycie energii, komfort cieplny i doświetlenie) narzucają często sprzeczne ze sobą wymagania. Elementów, które na nie wpływają poza formą i orientacją budynku jest wiele. Są to przede wszystkim: struktura przegród zewnętrznych, dobór okien (ich pozycja, wielkość, rodzaj oraz zastosowane systemy przeciwsłoneczne), wyeksponowanie masy budynku, rodzaj i jakość systemów wentylacji, ogrzewania oraz chłodzenia. Dlatego staranna optymalizacja wymagana jest zarówno we wstępnej, jak i w zaawansowanej fazie projektu, tak by postawione kryteria zostały spełnione.

Celem inwestora i projektantów było, aby budynek ograniczył zużycie energii do poziomu zbliżonego do określonego dla domu pasywnego [2]. Współczynnik zapotrzebowania energii na ogrzewanie określony został na poziomie 25-30 kWh/



Rys. 4. Graficzna reprezentacja wstępnych modeli symulacyjnych stworzonych w EDSL TAS oraz ECOTECT, które posłużyły do optymalizacji projektu

m^2/rok (w domu pasywnym jest to $15 kWh/m^2/rok$, a dla porównania, standardowy nowy budynek spełniający polskie normy, potrzebuje na ogrzewanie od 60 do $120 kWh/m^2$ w ciągu roku).

Kolejną wytyczną przy projektowaniu budynku było zastosowanie wyłącznie kontrolowanej wentylacji naturalnej dla zapewnienia minimum wentylacji w zimie oraz chłodzenia w czasie lata [3]. Zaspokojenie tego wymogu przy jednoczesnym określeniu surowych kryteriów komfortu oraz ograniczeniu zużycia energii, okazało się jedną z głównych trudności w procesie projektowania budynku.

Aby końcowy projekt budynku spełniał powyższe kryteria, duża część analiz przeprowadzona była już w fazie wstępnej koncepcji w formie dyskusji oraz wstępnych przemyśleń. Dzięki temu udało się określić formę budynku spełniającą nie tylko powyższe wymagania, ale też kryteria architektoniczne, użytkowe i konstrukcyjne.

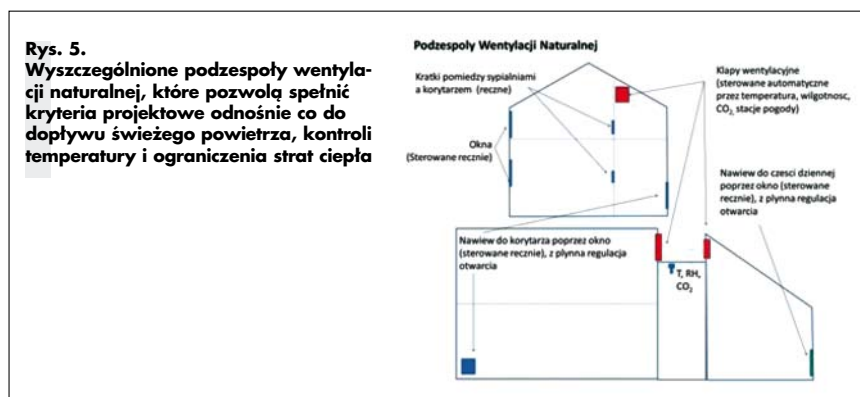
Następnie, w zaawansowanej fazie projektu, wybrany wariant budynku został zoptymalizowany przy użyciu symulacji, tak by poprzez dobór odpowiednich parametrów potwierdzić zgodność z założeniami dotyczącymi zużycia energii, komfortu i oświetlenia. Na tym etapie potwierdzono więc strategię odnośnie co do wentylacji i ogrzewania budynku, formę i wymiary budynku, dobór materiałów przegród zewnętrznych oraz wykończenia wnętrza, dobór i wymiary okien oraz podzespoły ogrzewania, wentylacji i automatyki.

Optymalizację przeprowadzono przy pomocy obliczeń oraz modelowania. Do tego celu wykorzystano dwa specjalistyczne pakiety symulacyjne:

- EDSL TAS [4], służącego do dynamicznej symulacji budynku, z wykorzystaniem godzinowych danych pogodowych dla całego roku. Analiza energetyczna oraz komfortu termicznego jest przeprowadzana z uwzględnieniem takich parametrów jak: przenikalność cieplna przegród budynku, okna (pozycja, wielkość, rodzaj oraz typ systemów przeciwsłonecznych), sprawność/parametry wentylacji naturalnej oraz wpływ wyeksponowanej

masy budynku na komfort termiczny wnętrz. Dzięki tym symulacjom można było przetestować działanie budynku „w wirtualnej rzeczywistości”.

- ECOTECT / Radiance [5], który wykorzystany został do analizy doświetlenia wnętrza światłem dziennym, z uwzględnieniem wszystkich parametrów przeszkleń budynku. Wyniki analiz oraz ich wpływ na efekt końcowy przedstawiono poniżej.



Rys. 5. Wyszczególnione podzespoły wentylacji naturalnej, które pozwolą spełnić kryteria projektowe odnośnie co do dopływu świeżego powietrza, kontroli temperatury i ograniczenia strat ciepła

Wentylacja budynku

Aby osiągnąć w pełni kontrolowaną, efektywną, prostą w działaniu oraz możliwie niezależną wentylację dla części dziennej i mieszkalnej, zaproponowano osobny nawiew dla tych części, kontrolowany ręcznie poprzez małe okna, które dają możliwość płynnej regulacji otwarcia [1]. Dodatkowo, centralnie w najwyższych punktach budynku umieszczono dwa zautomatyzowane okna, których stopień otwarcia ustalany będzie przez logiczny sterownik na

podstawie temperatury i poziomu wilgotności wewnątrz, temperatury na zewnątrz oraz prędkości i kierunku wiatru. Zadbano o to, by wszystkie okna miały płynną regulację otwarcia i zapewniały ochronę przed deszczem, włamaniem oraz insektami. Rysunek nr 5 pokazuje komponenty wentylacji naturalnej, które zapewniają funkcjonowanie wentylacji naturalnej w różnych porach dnia i roku.

Analiza energetyczna budynku

Analiza energetyczna budynku pozwoliła na dobór parametrów przegród zewnętrznych, oraz np. rodzaju armatury sanitarnej, a następnie – optymalnego źródła ciepła.

- Poniżej przedstawiono zaproponowane parametry przegród dobrane na podstawie analiz. Parametry te zapew-

niają minimalne straty ciepła bez wygórowanych dodatkowych kosztów. Współczynniki przenikania ciepła:

- ściany zewnętrzne: $U = 0,17W/m^2K$,
- podłogi/dach: $U = 0,15W/m^2K$,
- okna: $U_{całkowite} = 1,1W/m^2K$,
- infiltracja powietrza: $4m^3/m^2h$ przy różnicy ciśnienia 50Pa
- mostki cieplne $y = 0,04W/mK$.
- Ochrona przeciwsłoneczna:
 - G okien: 0,4.

Tabela 1. Przykład optymalizacji doboru rodzaju okien oraz poziomu infiltracji powietrza obrazującej zastosowanie energooszczędnych, ale łatwo osiągalnych na rynku rozwiązań, które maksymalizują oszczędności energii, a jednocześnie pozwalają ograniczyć wydatki. Końcowa opcja (nr 4) przyjmuje $U_{okien} = 1,1W/m^2K$ (osiągnięte albo poprzez dobór dwóch rodzajów okien albo poprzez zastosowanie dla wszystkich okien potrójnych szyb w standardowej ramie drewnianej (~10% powierzchni okna)), oraz infiltrację $4m^3/m^2h$ przy różnicy ciśnienia 50Pa (osiągnięta poprzez dobór materiałów izolacyjnych, ram okiennych, standardowej dbałości wykonania). W podobny sposób zoptymalizowano współczynniki ocieplenia pozostałych przegród oraz mostków cieplnych, natomiast zaproponowana redukcja wielkości okien pokryła się z wynikami analizy doświetlenia światłem dziennym oraz komfortu termicznego

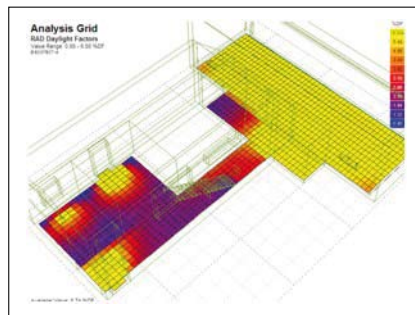
Nr	Opcja	Ogrzewanie	
		kWh	kWh/m ²
1	$U_{okien} = 0,8 W/m^2K$, infiltracja $2m^3/m^2h$ przy różnicy ciśnienia 50Pa	3972	17
2	jak opcja 1, ale z podwójnie szklanymi oknami ($U = 1,4 W/m^2K$)	6557	28
3	jak opcja 1, ale ze zwiększoną infiltracją $10m^3/m^2h$ przy różnicy ciśnienia 50Pa	8930	38
4	wybór końcowy: $U_{okien} = 1,1 W/m^2K$, infiltracja $2m^3/m^2h@50Pa$ zredukowana powierzchnia okien o 20%	5382	23

- o żaluzje wewnętrzne dla wszystkich okien z wyjątkiem korytarzy (przepuszczalność promieniowania 50%),
- o okap zewnętrzny dla ściany południowej – wysięg minimum 2m.

Kolejnym elementem energetycznej analizy budynku był dobór źródła ogrzewania, wielkości kolektorów słonecznych oraz wielkości zasobnika ciepła. Pod uwagę brano szereg rozwiązań, takich jak kocioł LPG, gruntowa pompa ciepła oraz kocioł na biomasę. Brak lokalnej sieci gazowej wykluczył zastosowanie kotła na gaz ziemny, a korzystanie z węgla oraz ekogroszku zostało wykluczone przez inwestora z powodów, które można nazwać ideowymi.

Szczegółowa analiza godzinowa w skali roku pozwoliła prześledzić efektywność poszczególnych rozwiązań oraz określić całkowite koszty ogrzewania. Wynik ten zestawiony z kosztami instalacyjnymi, pozwolił znaleźć najkorzystniejsze rozwiązanie w okresie długoterminowym. Inne elementy, takie jak zapewnienie dostaw opału, serwis urządzeń oraz łatwość ich użytkowania, również zostały wzięte pod uwagę przy końcowym wyborze.

Preferowanym rozwiązaniem okazał się kocioł na biomasę w zestawieniu z kolektorami słonecznymi. Zostały one,

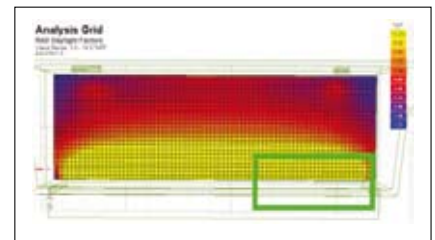


Rys. 6. Poziom doświetlenia światłem dziennym parteru domu

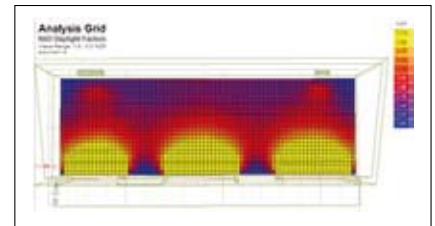
korytarze i sypialnie. Poniższe rysunki pokazują wyniki dla części dziennej.

Przy użyciu symulacji, przeanalizowano, między innymi, wpływ zmiany kilku parametrów na doświetlenie pokoju dziennego, takich jak:

- Rodzaj szkła:
 - o Przepuszczalność światła dziennego 85% (LT=0,85),
 - o Przepuszczalność światła dziennego 60% (LT=0,65).
- Powierzchnia okien:
 - o 42 m² – okno o wysokości 3m na całej szerokości ściany południowej,
 - o 30 m² – okna o wysokości 3 m na 2/3 szerokości ściany południowej.



Rys. 7. Wynik doświetlenia wnętrza pokoju dziennego przeszkleniami o LT=0,85, 42m² przeszklenia i okapie o długości 2m. Pomimo że, kuchnia jest odpowiednio doświetlona, całkowity współczynnik doświetlenia wynosi 12%, czyli jest dużo wyższy niż założone minimum, przez co negatywnie wpływa na zyski słoneczne i straty ciepła



Rys. 8. Zaproponowana redukcja wielkości przeszklenia pozwala zapewnić dobre doświetlenie w miejscach tego wymagających, a jednocześnie obniżyć całkowity współczynnik doświetlenia wnętrza do 7%. Dzięki temu, ograniczone są zyski słoneczne w lecie oraz nadmierne straty ciepła w zimie

Komfort termiczny

Prawdopodobnie najciekawszym, a jednocześnie najbardziej wymagającym kryterium do spełnienia jest zapewnienie odpowiedniego komfortu wewnątrz. Założenia do symulacji były następujące:

- Pogoda: ponad 2 tygodnie wyjątkowo gorącej pogody w okresie lata, która została sztucznie stworzona by przeanalizować funkcjonowanie budynku w okresach ekstremalnie ciepłych. Temperatura każdego dnia osiąga wartość 33°C przez 4 godziny. Całkowite promieniowanie słoneczne osiąga wartość 1000W/m².
- Zyski ciepła:
 - o ludzie: ~8 osób użytkujących część dzienną (75 W/osobę),
 - o oświetlenie (10–12W/m²) 4 godziny dziennie,
 - o dodatkowe źródła ciepła: zyski od komputerów (1 komputer w części dziennej), kuchnia (600 W zysku ciepłego 4 godziny dziennie).

Podczas analizy, wzięto pod uwagę takie elementy, jak wyeksponowana masa budynku (np. lekki drewniany dach lub betonowy stropodach), szerokość okapu, rodzaj i powierzchnia przeszkleń, oraz wielkość otworów wentylacyjnych. Wyniki analizy przedstawione zostały na wykresach poniżej (rys.9 – rys. 11).

Tabela 2. Zestawienie kosztów związanych z instalacją i użytkowaniem poszczególnych źródeł ciepła

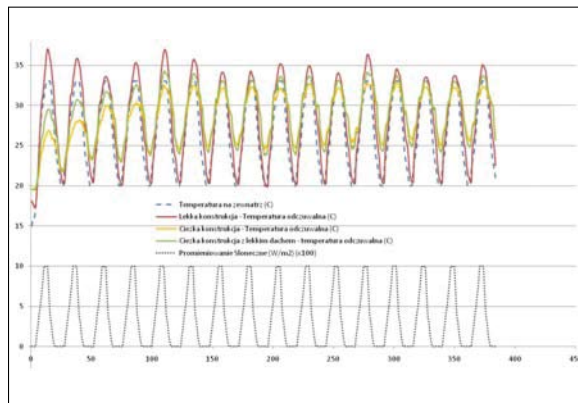
	Opcja Ogrzewanie				Najkorzystniejsza opcja
	kocioł LPG (opcja A)	kocioł na biomasę (opcja B)	pompa ciepła (opcja C)	kocioł na biomasę + kolektory słoneczne (opcja D)	
Zapotrzebowanie na paliwo [kWh]	8 758	9 853	3 153	6 238	C
Cena instalacji [PLN]	10 000	12 000	55 000	28 800	B
Cena paliwa [PLN/rok]	3 679	1 813	1 324	1 148	D
Całkowity koszt [PLN/20 lat]	83 570	48 260	81 485	51 757	B
Emisja CO ₂ [kg/rok]	1 690	246	2 995	156	D

wraz z zasobnikiem ciepła, zwymiarowane tak, by w okresie od końca kwietnia do końca września w czasie typowego roku, kocioł był wyłączony i całość zapotrzebowania na ciepła wodę pokryta była przez system solarny. Także optymalizacja rozmieszczenia pomieszczeń technicznych pozwoliła na maksymalne usprawnienie użytkownika kotła.

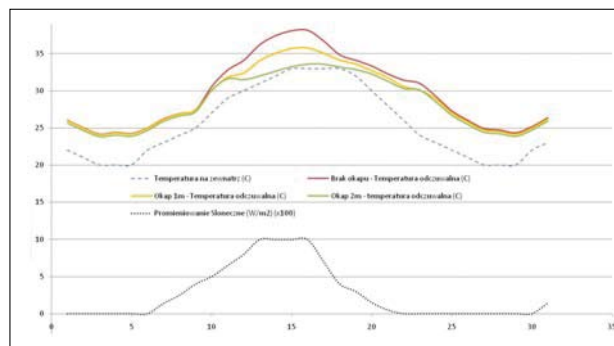
Doświetlenie budynku światłem dziennym

Celem analizy doświetlenia było zwerifikowanie parametrów przeszkleń, ich wielkości, rodzaju oraz położenia, tak by zapewnić odpowiednio wysokie, a jednocześnie równomierne doświetlenie wewnątrz. Przeanalizowano część dzienną budynku,

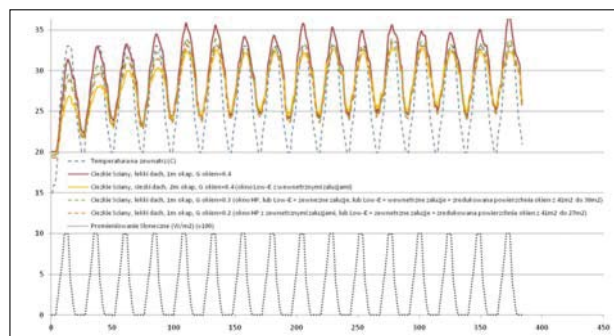
- Szerokość okapu:
 - o 1m,
 - o 2m.
 Kryteria wyboru najlepszego zestawu parametrów były następujące:
- Średni współczynnik oświetlenia wewnątrz dla pokoju dziennego powinien wynosić 5%. (współczynnik oświetlenia wewnątrz określa stosunek poziomu oświetlenia w danym miejscu wewnątrz do poziomu światła dziennego na zewnątrz, dla warunków zachmurzonego nieba).
- Wartość współczynnika doświetlenia w kuchni, w rejonie kucharki i zlewu oraz otaczających blatach powinna przekroczyć 4%.
Wyniki analizy pokazane są na rysunkach nr 7 i 8.



Rys. 9. Wykres przedstawiający temperaturę odczuwalną (uśrednioną temperaturę powietrza i otaczających powierzchni) w funkcji masy budynku. Większa masa budynku zapewnia utrzymanie temperatury wewnątrz poniżej temperatury zewnętrznej, szczególnie przez pierwsze 4-5 dni fali gorąca. Dodatkowo głównym „czynnikiem chłodniczym” w czasie dnia jest masywny strop pomieszczenia, który w tym przypadku, schładzany jest nocą dzięki wentylacji naturalnej



Rys. 10. Temperatura odczuwalna wewnątrz części dziennej w zależności od długości okapu. Każdy metr okapu pozwala zmniejszyć odczuwalną temperaturę o ok. 2,5K. Zaproponowano długość okapu min. 2m



Rys. 11. Wpływ szeregu elementów na temperaturę odczuwalną w części dziennej domu

Powyższe dane sugerują, że:

- Ciężka konstrukcja domu i dachu w części dziennej odgrywa kluczową rolę w utrzymaniu niskiej temperatury wewnątrz i nie może być ona zrekomensowana bardziej efektywnym systemem przeciwsłonecznym.
- Optymalnym wyborem dla elementów pokoju dziennego okazało się zastosowanie ciężkiego wyeksponowanego stropu, długości okien równej 2/3 długości pokoju, zastosowaniem okapu min 2m oraz wydajnych żaluzji wewnętrznych.
- Nie zaleca się skrócenia okapu z 2m do 1m. Możliwe zrekomensowanie krótszego okapu poprzez lepszą jakość okien, zastosowanie żaluzji zewnętrznych albo zmniejszenie powierzchni okien (o ok 30%) pociągnęłoby za sobą albo duży wzrost kosztów albo redukcję doświetlenia wewnątrz poniżej zalecanego minimum. Dalsze ulepszenie ochrony przeciw-

necznej (zastosowanie selektywnego szkła (HP), zewnętrzne żaluzje, dalsza redukcja przeszkleń) wydaje się mieć znikomy wpływ na komfort wewnątrz budynku (w porównaniu do standardowych okien razem z wewnętrznymi żaluzjami i okapem).

Podsumowanie

Wnioski ze wszystkich powyższych symulacji doprowadziły ostatecznie do:

- Zróżnicowania zastosowania materiałów w różnych częściach budynku (w zależności od funkcji i potrzeb),
- zastosowania wielowarstwowej konstrukcji ścian, z użyciem materiału konstrukcyjnego o możliwie dużym ciężarze właściwym,
- wykonania ciężkiego dachu części dziennej (konstrukcja żelbetowa), oraz zastosowaniem tynku na bazie cementowej (pozostała część domu ma tynk lekki gipsowy),

- optymalizacji współczynników przenikania ciepła dla przegród zewnętrznych,
- optymalizacji doboru przeszkleń (powierzchni, ilości, lokalizacji i rodzaju, sposobu otwierania i kontroli) zastosowania pełniącej rolę okapu pergoli od strony południowej,
- optymalnego doboru systemu ogrzewania (rodzaju, wymiarów, kontroli). Dodatkowo, analizy te dały niezbędną wiedzę dla przyszłych mieszkańców budynku, na temat optymalnego sposobu jego użytkowania, tak by budynek zapewnił maksymalny komfort wewnątrz przy jednoczesnych oszczędnościach energii.

Można powiedzieć: no dobrze, ale większość z tych rozwiązań, o których mowa, można wprowadzić na tzw. zdrowy rozum. Problem w tym, żeby oprócz tego, dowiedzieć się, jaki wymierny wpływ mają wybrane rozwiązania na funkcjonowanie budynku. Jak należy je kontrolować, i w którym momencie przestają się one opłacać. I temu służy zintegrowany proces projektowy, a w szczególności optymalizacja budynku.

Opisany projekt posiada wiele niestandardowych rozwiązań, co zwykle ma duży (negatywny) wpływ na jego koszty. Okazuje się jednak, że koszt stanu surowego budynku zamknął się w granicach 1300 PLN/m², a koszt planowany na zamknięcie „stanu deweloperskiego” planowany jest na 2200 PLN/m². Ceny te nie odbiegają zasadniczo od kosztów typowych budynków, co jest dużą zasługą rozsądnego i świadomego projektowania i zintegrowanego procesu projektowego oraz udziału specjalistycznych analiz. Jakość „uszytego na miarę” końcowego produktu oraz niskie koszty bieżące są więc w tym przypadku niemałym bonusem.

LITERATURA

- [1] ALLARD F., SANTAMOURIS M., *Natural ventilation in buildings. A design handbook*, ed. F. Allard, James & James, London 1998.
- [2] CLEARFIELD L., *Passive House, Aggressive Conservation*, [w:] *Solar Today* 25 (1) 2011, 22-25
- [3] STEC W.J., *Natural rhythm*, [w:] *Building Services Journal*, 05.2008
- [4] <http://www.edsl.net/>
- [5] <http://www.autodesk.co.uk/adsk/servlet/pc/index?id=15055760&siteID=452932>