

## **KONTROLA ŚRODOWISKA jako wynik przepływu ciepła, powietrza i wilgoci, przykłady z Ameryki Północnej)**

Przenikanie ciepła, powietrza i wilgoci przez ściany budynku to zjawiska nierozłączne. Każde z nich ma wpływ na pozostałe i jest zależne od innych materiałów użytych do wykonania konstrukcji budynku.

Często upraszcza się proces projektowania architektonicznego przypisując kontrolę nad każdym zjawiskiem do konkretnego materiału. Uznaje się na przykład, że izolacja termiczna służy kontrolowaniu przenikania ciepła a izolacja wiatroszczelna zapobiega przenikaniu powietrza. Podobnie, izolacja paroszczelna eliminuje dostęp wilgoci do materiałów budowlanych. Jednak te materiały spełniają wiele różnych i powiązanych funkcji i często współdziałają ze sobą. Na przykład, kontrolując przepływ powietrza, ochrona wiatrowa może także chronić przed przenikaniem wilgoci. Podobnie, warstwa izolacji termicznej, podnosząc temperaturę ściany, może zredukować ilość kondensacji pojawiającej się w szczelinie ściany.

Zatem proces kontroli środowiska wewnętrznego zależy w od kontroli i współzależności pomiędzy przenikaniem ciepła, powietrza i wilgoci. Dlatego przenikanie ciepła, powietrza i wilgoci należy rozważać wspólnie. W pewnym sensie takie podejście oznacza powrót do logiki przyjmowanej 70 lat temu, zanim szczegółowa analiza stała się działaniem rutynowym. Różnica polega na tym, że dzisiaj obowiązuje wiele norm i wymagań dla poszczególnych komponentów składających się na przegrodę zewnętrzną budynku.

### **Lekcja historii**

Przenikanie powietrza to najważniejszy z wielu czynników klimatycznych. Stanowi ono podstawę niemal wszystkich aspektów kontroli klimatu, ponieważ wraz z przenikaniem powietrza, ciepło i wilgoć przenikają przez przegrody zewnętrzne budynku. Pionierskie badania nad przenikaniem powietrza, prowadzone przez Uniwersytet w Minnesota w latach 1929-32 doprowadziły do zaakceptowania barier z impregnowanego asfaltu papieru do pakowania (papy) w budownictwie. Przegrody z papy utrudniały przenikanie powietrza i deszczu, umożliwiając jednocześnie usuwanie wilgoci na zewnątrz budynku. Ponadto papy, poprzez ograniczenie przepływu powietrza, przyczyniły się także do zmniejszenia strat ciepła z budynku, redukując przeciągi, wpływały na poprawę klimatu we wnętrzu, a chroniąc przed wpływem penetracji wiatru, obniżającej temperaturę przegrody wewnątrz budynku, przyczyniły się do ochrony ścian przed skutkami zniszczenia przez wilgoć.

Dążąc do zapewnienia komfortu termicznego we wnętrzu budynku wypełniano puste przestrzenie wewnątrz ścian drewnianych materiałami izolacyjnymi – najpierw wiórami wymieszanymi z wapnem, następnie drobno-pociętymi gazetami (Saskatchewan, 1926) a w końcu matami wykonanymi z surowców mineralnych. Pomimo tego, że para wodna była w stanie z łatwością przenikać przez izolację termiczną, prawie tak jak przez powietrze, obecność izolacji termicznej spowodowała obniżenie trwałości konstrukcji, poprzez obniżenie temperatury zewnętrznej części ściany powodując kondensacje pary wodnej.

Aby uniknąć kondensacji wprowadzono bariery paroszczelne, kontrolujące wypływ pary wodnej z ciepłego wnętrza budynku, na zewnątrz. W efekcie ściany domów budowanych w Ameryce Północnej już w 1940 roku były wyposażane w zewnętrzne bariery chroniące przed skutkami pogody oraz wewnętrzną barierę przeciw dyfuzji pary wodnej.

### **Skutki działania wilgoci – trwałość materiałów**

Zewnętrzna przegroda budynku ma za zadanie odseparowanie jego wnętrza od środowiska zewnętrznego. W tym celu potrzebne jest zapewnienie odpowiedniej integralności konstrukcyjnej i trwałości przegrody zewnętrznej, a w szczególności jej ochrona przed niszczącymi skutkami działania wilgoci. Ze wszystkich czynników atmosferycznych, wilgoć stanowi największe zagrożenie dla integralności i trwałości przegrody, i odpowiada za 60 do 80% zniszczeń pojawiających się w przegrodach zewnętrznych budynku.

Oczywiście, wiele materiałów budowlanych zawiera wilgoć, w szczególności ściany murowane czy betonowe. Te przegrody charakteryzują się znakomitą charakterystyką pracy, jeśli nadmiar wilgoci nie zagrazi ich trwałości. Jednak nadmiar wilgoci stanowi zagrożenie zarówno dla trwałości materiału jak i dla jego funkcjonalności.

Rozważmy dla przykładu ryzyko zniszczenia materiału podczas okresów zamarzania i odmarzania konstrukcji. Nie chodzi tutaj o właściwości materiału, ale o bardziej skomplikowaną charakterystykę, która zależy zarówno od materiału jak i od środowiska, w którym on się znajduje. Przykładowo, w jednym budynku szkoły, jedynie zewnętrzna powierzchnia wystających elementów ceglanych (pilastry), wykazywała objawy łuszczenia się wywołanego zamarzaniem i rozmarzaniem konstrukcji, te wystające elementy były bardziej narażone na działanie deszczu i miały niższą temperaturę niż powierzchnia fasady z cegieł, na której objawy łuszczenia nie wystąpiły. Połączenie obydwu tych czynników może przyczynić się do zniszczenia w czasie powtarzających się cykli zamarzania i rozmarzania mokrej ceramiki.

Podobnie, korozja metali wystawionych na działanie atmosfery różni się w zależności od temperatury powierzchni metalowego elementu i wilgotności. Także pleśń potrzebuje do wzrostu określonych temperatur i wilgotności (wilgotność względna powyżej 80%).

### **Energia termiczna – działanie dynamiczne**

Ocena parametrów energetycznych powłoki budynku wymaga uwzględnienia trzech różnych czynników:

- Ilości ciepła przechodzącej przez ściany, okna i inne elementy powłoki budynku – to jest transfer przez przenikanie ciepła
- Ilości ciepła potrzebnego do podniesienia temperatury powietrza zewnętrznego do temperatury powietrza wewnętrznego – to zależy od szybkości wymiany powietrza przez wentylację i od szczelności budynku, która kontroluje nie planowaną wymianę powietrza
- Mostków termicznych to jest obniżenia temperatury na wewnętrznej powierzchni mostka termicznego, co może prowadzić do kondensacji pary wodnej.

Transfer ciepła przez przenikanie może zostać przedstawiony na cztery różne sposoby, każdy bardziej precyzyjny od poprzedniego. Pierwsze przybliżenie uwzględnia tylko stały przepływ ciepła przez płaską, zaizolowaną powierzchnię ścian, ignorując wielokierunkowy przepływ ciepła wywołany mostkami termicznymi. Zatem drewniana ściana szkieletowa, izolowana matami z włókna szklanego o oporze dla przepływu ciepła w jednostkach SI,  $RSI = 3.5$  będzie nazywana ścianą  $RSI 3.5$ .

Kolejny poziom dokładności uwzględnia efekt mostków termicznych i ściana  $RSI 3.5$  jest określana teraz jako ściana  $RSI 3.1$ . Następny poziom dokładności uwzględnia w obliczeniach parametrów termicznych ściany także zmienne warunki pogodowe. Jeśli ściana pozostaje sucha i powietrze nie jest w stanie przez nią przenikać, ale można zastosować model matematyczny i obliczyć w jaki sposób ciepło zakumulowane w ścianie wpłynie na izolacyjność termiczną przegrody.

Jednak przy tym stopniu precyzji, koncepcja współczynnika „R” lub jego odwrotności – współczynnika „U” – nie sprawdza się. Rzeczywisty opór cieplny zależy od temperatury ściany, tego czy ściana ogrzewa się czy schładza oraz jaka ilość promieniowania słonecznego pada na ścianę. Należy raczej rozważać straty energii na określonej powierzchni w ciągu jednego dnia czy w ciągu całego roku. Tym właśnie zajmuje się modelowanie przepływu energii.

Modelowanie przepływu energii nie zajmuje się rzeczywistymi ścianami, zajmuje się ścianami idealnymi, w których nie występują otwory, nie ma przepływu powietrza, nie uwzględnia się wpływu deszczu czy wilgoci na ściany – po prostu idealne ściany i idealna pogoda w trakcie typowego roku. Europejskie normy izolacji termicznej, przy ocenianiu charakterystyki termicznej materiałów budowlanych, starają się różnicować pomiędzy wartościami deklarowanymi i projektowymi. Wartości deklarowane reprezentują

oczekiwaną izolacyjność termiczną, zmierzona przy temperaturze porównawczej i określonej grubości izolacji oraz potwierdzonym stopniem pewności. Wartość projektowana powinna opisywać działanie tej izolacji w konkretnym klimacie i określonych warunkach użytkowania, a więc będzie on bardziej zbliżoną do wartości rzeczywistej.

Drugi komponent wpływający na energooszczędność – przenikanie powietrza przez przegrodę – jest związany z prędkością przepływu powietrza przez powłokę budynku. Ten komponent jest wprost proporcjonalny do różnicy ciśnień i odwrotnie proporcjonalny do oporu przepływu powietrza określonego dla powłoki budynku.

Kolejny komponent wpływający na ocenę energooszczędności jest związany z kondensacją pary wodnej na powierzchni mostków termicznych lub wewnątrz powłoki budynku. W tych punktach, niższa temperatura powoduje skroplenie pary wodnej a woda w postaci ciekłej znajduje inny sposób aby przeniknąć do wnętrza konstrukcji. Zatem wymaganie projektowania dla likwidacji mostków termicznych łączy projektowanie energooszczędnej przegrody z zapewnieniem jej trwałości.

### **Projektowanie środowiska wewnętrznego**

Włączenie kontroli nad środowiskiem wewnątrz budynku wymaga przeprowadzenia analizy iteracyjnej w której często zmieniamy nie tylko szczegóły, ale także podstawowe koncepcje. Może się tak stać np. w sytuacji, kiedy zawartość wody w materiale przekracza wartości dopuszczalne. Zatem projekt musi pozostać otwarty na zmiany do chwili, kiedy wszystkie konsekwencje kontroli środowiska wewnętrznego nie zostaną zbadane.

Po dokonaniu wstępnej selekcji, projektant winien określić szczegóły architektoniczne oraz połączenia pomiędzy poszczególnymi elementami konstrukcji (takimi jak fundamenty, ściany, podłogi, okna i drzwi). Następnie, aby uzyskać prawidłowy przepływ powietrza w tych lokalizacjach, projektant musi zadać kolejne pytania dotyczące działania całego systemu, takie jak pytania o ilość przenikania powietrza przez przegrodę, umiejscowienie nawiewów i wywiewów powietrza wentylacyjnego, ryzyko powstania przeciągów czy wpływ na użytkowników kondensację pary wodnej. Przez cały okres projektowania obiektu, projektant kontroli środowiska winien konsultować się z konstruktorem ścian i okien, oraz ekspertami z dziedziny elektryki i mechaniki, tak by uzyskać odpowiedź na wszystkie te pytania i zapewnić, że wybrane materiały będą prawidłowo spełniały swoje role.

Ponadto, zespół projektowy winien analizować aspekty związane z technologiami budowania, takie jak instalacja materiałów przy różnych warunkach pogodowych, poziom wykszolenia robotników budowlanych wymagany przy wykonywaniu konstrukcji oraz dopuszczalne tolerancje konstrukcji. Możliwość zbudowania obiektu – jak sama nazwa wskazuje – oznacza że obiekt zaprojektowany na papierze będzie można fizycznie zbudować.

Wreszcie, skomplikowane interakcje pomiędzy ciepłem, powietrzem i wilgocią wymagają zastosowania drugiej linii kontroli w projektowaniu. Na przykład zacieki z deszczu mogą się pojawić na połączeniu ściany i okna, kiedy tynk zewnętrzny się skurczy. Projektant musi przewidzieć, w jaki sposób ta wilgoć zostanie odprowadzona, a jeśli nie zostanie odprowadzona, to w jaki sposób konstrukcja może zostać osuszona. Jak długo będzie trwał proces osuszania konstrukcji i jaki będzie miał wpływ na pozostałe materiały użyte do budowy. Czy przedłużająca się obecność wilgoci może wywołać korozję, pleśń czy gnienie materiałów organicznych?

Cały proces kontroli klimatu wewnątrz budynku musi zostać zakończony zanim rozpoczyna się budowa. Nigdy nie może odbywać się na placu budowy. Rozwiązanie konkretnego problemu projektowego na placu budowy, bez przeanalizowania w jaki sposób wprowadzone zmiany wpłyną na działanie innych systemów

jest zaproszeniem do wywołania nowych problemów, ponieważ może się okazać, że nie osiągnięto prawidłowej integracji z innymi wymaganiami.

### **Dwoistość myślenia w procesie projektowania środowiska wewnętrznego**

Podczas projektowania klimatu wewnętrznego konieczne jest zintegrowanie dwóch różnych procesów myślowych. Jeden, obejmuje szczegółowe testy i analizy; drugi, obejmującego ocenę opartą na doświadczeniu, i wycuciu, że powłoka budynku pracuje prawidłowo. Od strony analitycznej, dostępnych jest szereg narzędzi, modeli i danych, opisujących czynniki materiałowe, konstrukcyjne i środowiskowe, mające wpływ na powłokę budynku. Od strony jakościowej, mówimy o doświadczeniu z istniejących budynków.

Na przykład, izolacja paroszczelna jest zwykle klasyfikowana według parametrów przepuszczalności pary wodnej, gdzie 1 perm odpowiadał paro-przepuszczalności 20 mm desek drewnianych stosowanych jako wykładzina starych budynków drewnianych. Jednak wykonane w Kanadzie obliczenia skomplikowanych modeli przenikania ciepła, powietrza i wilgoci pokazały, że przy jednoczesnym zastosowaniu barier przepływu powietrza, wymagane bariery paroszczelne w zależności od klimatu wahały się od 0.1 do 10 perm. Ponadto, niektóre materiały zakwalifikowane jako bariery paroszczelne na podstawie badań laboratoryjnych są funkcjonują jako takie kiedy są mokre. Zatem dobór barier wymaga zastosowania zarówno analizy matematycznej jak i doświadczenia z tradycji.

Ta sama zasada obowiązuje przy wszystkich pozostałych aspektach kontroli klimatu wewnątrz budynku. Zespół projektujący musi wykonać analizę jakościową, tak by zdecydować, czy materiały dobrane ze względu na swoje parametry ilościowe będą właściwe dla danego projektu.

Ta strategia przypomina ster podejście, stosowane 70 lat temu, kiedy budowniczowie podchodzili holistycznie do problemu funkcjonowania budynku. Jednak jest ono różne pod jednym ważnym względem. W przeszłości, takie podejście wynikało z ograniczonej wiedzy, niższych wymagań jakościowych i mniejszej liczby metodologii analitycznych. Jednak dzisiejsze osiągnięcia wymagają od projektantów celowego skonsolidowania i zrozumienia skomplikowanych analiz z wiedzą i doświadczeniem. W efekcie budowane będą obiekty, w których możliwe będzie osiągnięcie dobrego klimatu wewnętrznego i powłoki budynku spełniających wszystkie wymagania funkcjonalności.