Ocieplajmy świadomie

czyli – o czym stosujący ocieplenia: projektant, wykonawca, inwestor wiedzieć powinien

Domeną ostatnich kilku lat w budownictwie polskim jest ocieplanie. Głównym, a może i jedynym, powodem ocieplania budynków są stale i nieubłaganie rosnące ceny pozyskiwanego ciepła – i to niezależnie od rodzaju paliw. Koszt energii cieplnej, niezbędnej do życia człowieka w naszym klimacie jest, niestety, coraz bardziej odczuwalny w budżecie firm czy zwykłych mieszkańców. Na nic się zdaje ucieczka zdezorientowanych odbiorców ciepła z jednych źródeł do innych. Pozyskiwanie energii cieplnej z centralnego systemu ciepłowniczego jest tak samo drogie, jak z indywidualnych kotłowni gazowych, olejowych czy na paliwo stałe. Kosztowna jest także zamiana energii elektrycznej w ciepło. Niekonwencjonalne systemy cieplne, jak np. ogrzewanie energią słoneczną czy pompami cieplnymi, są nadal poza zasięgiem przeciętnie zarabiającego mieszkańca. Nie bez znaczenia jest także coraz śmielsze zastosowanie odzysku, czyli rekuperacji ciepła zawartego w powietrzu usuwanym podczas wentylacji oraz pozyskiwanie energii słonecznej w systemach biernych. Podstawowym jednak zabiegiem – pozwalającym wyraźnie zmniejszyć eksploatacyjne koszty na ciepło potrzebne do ogrzewania budynków – jest ocieplanie przegród budowlanych: ścian, podłóg, stropów, a także stolarki okiennej i drzwiowej oraz zmniejszanie ilości powietrza infiltrującego.

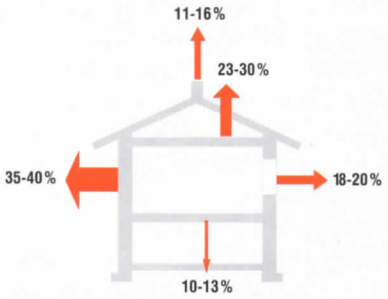
Potrzeba świadomości

Skąd zatem potrzeba sygnalizowanej w tytule świadomości? Otóż, pomimo – wydawać by się mogło – prostego kierunku zamierzeń w dziedzinie ocieplań, w praktyce czyha niezwykle dużo przykrych niespodzianek, prowadzących do powstawania różnego typu

„Stan błogiej nieświadomości w budownictwie jest tym, czym wspinaczka po górach na konopnej linie".

mgr inż. Jerzy B. Zembrowski

uszkodzeń w konstrukcji budowlanej, których likwidacja zawsze pociąga konieczność nakładów finansowych i to wcale niemałych! Niebezpieczeństwa w zamierzeniach ociepleniowych biorą się z istnienia całego szeregu związanych ze sobą sprzeczności, o których albo się nie wie, albo, bagatelizując, pomija. Nie biłbym na alarm, gdyby



Rys. 1. Organizacja strat ciepła w budynku jednorodzinnym zbudowanym w technologii tradycyjnej, przed ociepleniem.

brak świadomości przy konstruowaniu ociepleń był sporadyczny. Tymczasem, na terenie całego kraju widać zadziwiającą nieraz beztroskę w tej dziedzinie. Nie tylko coraz mniej projektantów zasiada do gruntownych przemyśleń przy opracowywaniu ociepleń, ale pojawia się coraz więcej wykonawców, traktujących to zajęcie jedynie jako doskonałą okazję do zarobienia pieniędzy. Wykonawcy tacy, nie posiadając żadnego przygotowania zawodowego, podczas ocieplania (niezależnie od jego rodzaju) całą uwagę koncentrują na zamocowaniach wybranego materiału ociepleniowego do poszczególnych przegród budowlanych. Zatrważający stan „partyzantki" w technice ociepleń potęgują także niefrasobliwi inwestorzy – szczególnie indywidualni. Ich podstawowym dążeniem jest maksymalne obniżanie kosztów tego procederu. Jedni inwestorzy wybierają najtańszy istniejący system ociepleń, inni sami ustalają grubość ocieplenia oraz rodzaj użytych materiałów. Tak czy inaczej, ocieplenia coraz powszechniej kojarzą się jedynie z koniecznością ułożenia jednej lub więcej warstw materiału ocieplającego. A tymczasem...

O co walczymy

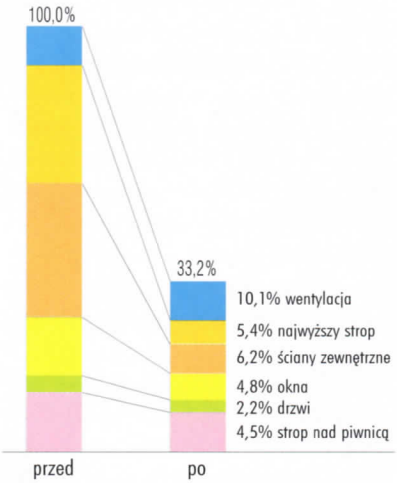
Spójrzmy na typowy charakter struktury ciepła traconego przez budynek. Na rysunku 1. mamy pokazany podział strat ciepła w domu jednorodzinnym, zbudowanym w technologii tradycyjnej. Budynek taki (przed ociepleniem) najwięcej ciepła traci w wyniku przenikania przez ściany zewnętrzne (35-40%) i strop nad najwyższą kondygnacją (23-30%). W dalszej kolejności występują straty ciepła przez stolarkę okienną i drzwiową (18-20%) oraz przenikanie przez strop nad piwnicą (10-13%). Nie bez znaczenia jest także ucieczka ciepła przez wentylację, razem z powietrzem usuwanym z pomieszczeń (11-16%). Trzeba tutaj zauważyć, że podane procentowe wartości strat ciepła nie są możliwe do ograniczenia do zera, ze względu na dwie

właściwości praktyczne: ekonomicznie uzasadnioną grubość warstwy ocieplenia i konieczność utrzymania komfortu cieplnego.

Ekonomicznie uzasadniona grubość warstw ociepleniowych wynika z wyważenia podziału kosztów inwestycyjnych, ponoszonych podczas ocieplania, z kosztami eksploatacyjnymi podczas ogrzewania budynku. Na tej podstawie można precyzyjnie określić wymaganą grubość warstw ociepleniowych, tak aby nastąpił jak najszybszy zwrot kosztów ich wykonania. Tak więc, dobór grubości ocieplen (dla budynków nowych czy już istniejących) nie jest rzeczą dowolną i na pewno nie wynika ani z mody na danym terenie, ani z przypuszczeń inwestora, projektanta czy wykonawcy. Można bowiem łatwo wpaść w pułapkę, na pozór małych kosztów ogrzewania, dobierając zbyt duże grubości ocieplen. Można wykazać, że przy aktualnej cenie energii cieplnej, jest tylko jedna wartość grubości ocieplenia ekonomicznie uzasadniona. Grubość tę można odpowiednio zwiększyć o wynikającą z ew. prognozowanego wzrostu kosztów nośników ciepła. Jednakże i tutaj należy kierować się obliczeniami, a nie przypuszczeniami.

Konieczność utrzymania komfortu cieplnego pomieszczeń polega na zapewnieniu wymaganych ilości wymienianego z pomieszczenia powietrza na świeże zewnętrzne – w ciągu całego roku. Rolę urządzeń zapewniających wymianę tego powietrza spełniają wentylacje naturalne (najczęściej w kraju spotykane) lub wymuszone – droższe, ale zapewniające należytą kontrolę i regulację wymiany powietrza. Jasne jest, że wymiana powietrza latem, nikomu nie sprawia kłopotu. Inaczej rzecz się ma w zimie. Niestety, potocznie uważa się, że wymiana powietrza zimą to droga ucieczki ciepła. Stąd tak często spotykane zamykanie otworów kratek wentylacyjnych, w celu wyeliminowania ucieczki powietrza z pomieszczeń. Skutek takich działań, niestety, jest zawsze taki sam: brak komfortu cieplnego w pomieszczeniach, zawilgocenia, stęchlizna w powietrzu, wykraplanie się wilgoci na zimnych powierzchniach, a także spadek wydajności grzejników c. o.

Możliwości zmniejszenia strat cieplnych budynku (a raczej jego energochłonności) przedstawia rysunek 2. Widać wyraźnie, że największe szanse zaoszczędzenia na cieple dotyczą ścian zewnętrznych i stropów. Pewne rezerwy tkwią także w stolarce okiennej, mniejsze zaś w drzwiowej. W prawidłowo funkcjonującym budynku nie jest, niestety, możliwe zatrzymanie ciepła uchodzącego wraz z potrzebnym powietrzem wentylacyjnym – chyba że zastosujemy odzysk tego ciepła poprzez rekuperatory, ale to już oddzielna analiza kosztów i celu. Innym zupełnie zagadnieniem jest powstrzymanie ciepła wraz z uchodzącym nadmiarem powietrza wentylacyjnego przez nieszczelną stolarkę okienną czy drzwiową, a także przez infiltrację ścian zewnętrznych. Nadmiar taki występuje zawsze, gdy łączna ilość powietrza infiltrującego jest większa niż wymagana minimalna ze względu na zapewnienie komfortu cieplnego. Zwróćmy uwagę na jeszcze jeden aspekt, wynikający z tej pobieżnej analizy celowości i kierunku ocieplania.



Rys. 2. Efekty kompleksowego ocieplenia budynku jednorodzinnego zbudowanego w technologii tradycyjnej.

Jedynym rozsądnym działaniem podczas tzw. termomodernizacji budynków starych jest kompleksowość przedsięwzięcia, tj. jednoczesne przeprowadzenie ocieplen w przeanalizowanych różnych strefach nadmiernej ucieczki ciepła (ściany, stropy, stolarka) oraz modernizacja wentylacji. Często spotykane, wybiórcze działania nie przynoszą zwykle oczekiwanych rezultatów, np. silnie ocieplając ściany zewnętrzne, przy zwichrowanej stolarce bądź słabo ocieplonym poddaszu, możemy spodziewać się zwrotu nakładów na ocieplanie w zaledwie kilku procentach kosztów (zamiast oczekiwanych trzydziestu lub więcej). Jest jeszcze kilka innych uwarunkowań powodzenia ocieplania, ale o tym będzie mowa w dalszej części artykułu. Przedstawiony po prawej stronie rysunku 2. podział strat ciepła, dotyczy dokonanej kompleksowej termorenowacji budynku istniejącego. W obiekcie nowo projektowanym podział będzie zupełnie inny, bowiem projektant ma znacznie większe pole manewru w zakresie wyboru technik czy materiałów ocieplen (właściwie bez ograniczeń). Przede wszystkim, strop nad piwnicą lub podłoga parteru bez podpiwniczenia będą miały zastosowane odpowiednie ocieplenia, proporcjonalne do charakterystyk cieplnych ścian zewnętrznych czy stropu na najwyższej kondygnacji oraz stolarki. Inaczej mówiąc, poszczególne elementy tracące ciepło będą miały ekonomicznie uzasadniony opór cieplny, co wykluczy potrzebę stosowania dodatkowych ocieplen podczas eksploatacji obiektu.

Dlaczego ogrzewamy atmosferę

Na pozór przewrotnie, można stwierdzić, że wszyscy żyjący w klimacie umiarkowanym, zimą nie robimy nic innego, jak tylko ciągle ogrzewamy atmosferę wokół Ziemi – w dodatku nie otrzymując nic w zamian. Dzieje się tak dlatego, że na skutek ciągłych strat ciepła, broniąc się przed wyziębieniem mieszkań, musimy również stale dostarczać pewne ilości ciepła do instalacji grzewczych. A ciepło i tak ucieka na zewnątrz, w mniejszym lub większym stopniu (niezależnie od tego czy posiadamy budynek bardziej, czy mniej energochłonny). Trwa to tak długo, aż temperatura na zewnątrz podniesie się do wartości temperatury wewnętrznej. I tak co roku, w każdym sezonie zimowym. Widać zatem, że w stwierdzeniu powyższym wcale nie ma nic przewrotnego. Dopóki wspomniane na wstępie ceny za energię cieplną były niskie, problem ucieczki ciepła, czyli podgrzewania atmosfery

na nasz koszt, nie był zauważany. Jednakże w dobie zwyżki tych cen – i to bez perspektywy spadku – nie pozostaje nic innego, jak oszczędzać na cieple przez ograniczenie jego ucieczki do atmosfery. Potocznie mówiąc – ocieplajmy. Ocieplajmy, ale świadomie.

Gdzie jesteśmy

Najlepszym parametrem, pozwalającym ocenić na ile dany obiekt jest energochłonny, jest wprowadzony kilkanaście lat temu w krajach zachodnich (ostatnio także w Polsce), wskaźnik rocznego zapotrzebowania ciepła E do ogrzewania budynku (kWh/m^2). W celu zorientowania się, jak energochłonne obiekty posiadamy lub wznosimy, porównajmy dane zawarte w tablicy 1. W budynkach wznoszonych od roku 1985, wskaźnik ten kształtuje się na poziomie 240-380. Nieco lepsze parametry mają budynki wznoszone do roku 1992, bowiem ok. 200-220. Znaczącą poprawę odnotować należy dopiero w budynkach powstających do roku 1998, bowiem uzyskujemy wskaźnik E na poziomie 160. Dane z tej tablicy skomentować można tylko następująco: budownictwo socjalizmu, to jedno wielkie marnotrawienie zasobów energetycznych kraju, a także rujnowanie naszej kieszeni na pokrywanie kosztów ogrzewania. Tak wielkie zapotrzebowanie na ciepło E, nie tylko prowadzi do wysokich kosztów bytowania, ale także niezwykle utrudnia zapewnienie obliczeniowych temperatur w pomieszczeniach użytkowych. Nic dziwnego, że wprowadzono wreszcie odpowiednie ustawowe regulacje prawne, pozwalające dokonać termorenowacji tych wielkich, ogrzewających atmosferę ssawek ciepła. Nieco lepsze wskaźniki energetyczne posiadają aktualnie wznoszone budynki. Przeszkodą w uzyskaniu znacznie bardziej zadowalających wskaźników jest zbyt silna chęć developerów do osiągnięcia zysków oraz nadmierna oszczędność inwestorów. Uzyskiwany obecnie wskaźnik E na poziomie 160 jest już właściwie modelowym – charakterystycznym dla powszechnie stosowanych technologii budowania. Jednakże o tym, jak daleko jesteśmy od czołówki światowej, niechaj świadczy wielkość tego wskaźnika w krajach bardziej rozwiniętych gospodarczo. Gdy my w roku ubiegłym zadowalaliśmy się wskaźnikiem 160, w Niemczech wynosił on 100 (o 38% mniej), natomiast w Szwecji zaledwie 60 (o 63% mniej). Porównania te są wystarczająco miarodajne, bowiem wymienione kraje posiadają klimat zbliżony do naszego. O prawie marginesowym traktowaniu ocieplania przez naszych budowniczych, niechaj świadczy inny wskaźnik porównawczy: zużycie materiałów termoizolacyjnych na jednego mieszkańca. Stan na rok 1997 przedstawia tablica 2. Średnio zużywamy do ocieplania dwa razy mniej materiałów niż Niemcy czy Szwedzi. Od Amerykanów bądź Norwegów dzieli nas, niestety, przepaść. Biorąc za podstawę wspomnianą ustawę wspierającą termorenowację czy nowe graniczne współczynniki przenikania ciepła, należymy do krajów dopiero rozwijających się i w najbliższych latach spodziewać się można znacznej poprawy omawianych wskaźników.

Tablica 1.
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania ciepła E do ogrzewania budynków (kWh/m^2)

Polska do roku 1985	240-380
Polska do roku 1992	200-220
Polska do roku 1998	160
Niemcy do roku 1998	100
Szwecja do roku 1998	60

Ruch ciepła

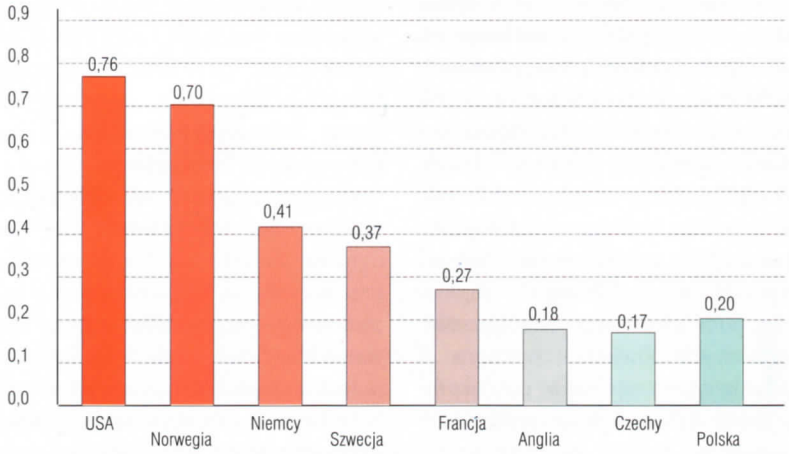
Wszyscy wiemy, że do rozpoczęcia właściwego leczenia, konieczne jest precyzyjne rozpoznanie przyczyny choroby. Niestety, u nas w kraju nadal niewielu jest świadomych tego, że również w przypadku ocieplania, przed podjęciem decyzji o zakresie i kierunku działań, konieczne jest gruntowne zbadanie przez specjalistę przyczyn i miejsc nadmiernej ucieczki ciepła z budynku. Jednakże, do tego potrzebna jest pełna wiedza z zakresu fizyki cieplnej budowli. W tym miejscu, z konieczności, ograniczę się jedynie do skrótowego zasygnalizowania problemów – bez szczegółowego wnikania w fizykę zjawisk zachodzących w budynku. Moim zamiarem jest jednak przybliżenie pewnych zagadnień na tyle, aby Czytelnik mógł sam należycie ocenić wagę i istotę ocieplania.

Zgodnie ze znanymi prawami ruchu ciepła przez przegrody budowlane, straty ciepła zależą wprost proporcjonalnie od:

- różnicy temperatur powietrza wewnętrznego i zewnętrznego,
- powierzchni wymiany ciepła,
- wartości współczynnika przenikania ciepła U.

Wynika z tego, że im wyższa temperatura wewnątrz pomieszczeń oraz im

Tablica 2.
Zużycie materiałów termoizolacyjnych w m^3 na 1 mieszkańca (wg stanu na 1997 r.).



niższa temperatura na zewnątrz, tym straty ciepła będą większe. Dlatego przy zastosowaniu jednakowej budowy przegród, pomieszczenia, takie jak np. łazienki, będą zawsze traciły jednostkowo więcej ciepła niż, np., pokoje. Podobnie, z dwóch jednakowych budynków zlokalizowanych w różnych strefach klimatycznych kraju, np. we Wrocławiu i Suwałkach, większe straty ciepła (zatem wyższy koszt utrzymania) będzie miał ten drugi. Na tej samej zasadzie, ludzie mający upodobania do przebywania raczej w wyższych temperaturach, będą musieli liczyć się z większymi wydatkami niż korzystający z „normatywnych". Dalszym wnioskiem jest także stwierdzenie, że z dwóch budynków o jednakowej powierzchni zabudowy, ale o odmiennym kształcie, większe straty ciepła będzie miał ten o znacznie zróżnicowanym kształcie. Dużo bardziej złożone wnioski wynikają z wpływu współczynnika przenikania ciepła U. Im jest on mniejszy, tym mniejsze straty ciepła do otoczenia. Na wartość tego współczynnika główny wpływ ma opór cieplny przegrody, ale tym razem odwrotnie proporcjonalnie. Inaczej mówiąc: im większy opór cieplny, tym mniejszy współczynnik przenikania ciepła U i mniejsze straty ciepła budynku. Z faktu tego wynika (od wieków już znane) ograniczenie swobody architektów i projektantów. Im śmielsza i lżejsza architektura obiektu, im więcej przeszklenia, tym, niestety, jest on droższy w eksploatacji. Tylko najlepsi architekci potrafią pogodzić swoje wizje i fantazje twórcze z faktem, że nasz klimat nie przypomina hiszpańskiego. Jakże niewielu inwestorów pamięta, przy decyzjach wyboru architektury, o przeciwstawnych ich wyobrażeniom zaleceniach, wynikających z praw ruchu ciepła: jak najbardziej zwarte obiekty, o jak najmniejszych oknach i jak najmniejszych współczynnikach przegród i stolarki. Z tego wynika, że budynki najcieplejsze są, niestety, najdroższe – korzystają z najbardziej rozwiniętych technologii. Należy mieć nadzieję, że zarówno zapędy architektów, jak też inwestorów osłabi wprowadzenie obowiązku opracowywania charakterystyki energetycznej obiektu wraz z analizą kosztów eksploatacyjnych, przy oddawaniu projektu do zatwierdzenia (jeżeli taki obowiązek zostanie u nas wdrożony!).

Przykre niespodzianki

Opór cieplny przegrody jest tym większy, im więcej jest warstw w przegrodzie, im większa jej grubość, a także im mniejsze współczynniki przewodzenia ciepła poszczególnych warstw. Matematycznie rzecz biorąc, opór cieplny przegrody, będąc sumą oporów jej warstw, nie jest zależny od kolejności ich ułożenia. Ten fakt właśnie jest częstym powodem przykrych niespodzianek. Stąd też, stosuje się czasami ocieplanie od wewnątrz, jako bardziej wygodne (o konsekwencjach tego w dalszej części artykułu).

Zgodnie z zasadą obliczania oporu cieplnego, pojawia się zależność, że im grubsza warstwa ocieplenia, tym mniejszy współczynnik przenikania ciepła, a tym samym mniejsze straty ciepła. Dlatego też, coraz częściej widzi się zwiększanie (bez żadnych obliczeń) grubości warstw ocieplających zarówno wewnątrz przegród, jak i na ich zewnętrznej powierzchni. Czynią tak zwykle inwestorzy zasobni, pragnący dużo wyraźniej niż inni zademonstrować, jak ciepłym dysponują budynkiem, oczekując wielkiego zminimalizowania kosztów ogrzewania. Logicznie rzecz biorąc, rzeczywiście, im grubsza warstwa ocieplenia, tym mniejsza strata ciepła. Jednakże tutaj pojawia się druga przykra niespodzianka – o niej również w dalszej części artykułu.

Opierając się na prawach przewodnictwa ciepła, wielu budowlańców zauważyło, że im mniejszy współczynnik przewodzenia ciepła materiału ocieplającego, tym większy opór przegrody i tym mniejsze straty ciepła. Znowu, matematycznie rzecz biorąc, jest to prawda. W sukurs temu myśleniu idzie reklama wielu producentów, zachwalająca coraz to lepsze właściwości izolacyjne ich produktów. Stąd pojawia się tu i ówdzie wkładanie, np., lekkiej wełny ociepleniowej pomiędzy warstwy muru podczas jego wznoszenia czy upychanie najrozmaitszych „wynalazków" wewnątrz bądź na zewnątrz przegród. A tutaj czyha następna przykra niespodzianka, o której później.

Wielu, słysząc o ocieplaniu wewnątrz murów, z równym zapałem wkłada do nich styropian czy wełnę, bez względu na jej gęstość, bowiem dla nich ocieplenie to coś ciepłego wewnątrz muru – i to niezależnie od materiału konstrukcyjnego – „im grubsze ocieplenie, tym lepiej". Ta niezależność dotyczy także miejsca ocieplenia: jednakowo pod ziemią, w strefie cokołowej i na poszczególnych kondygnacjach. Takie ocieplanie to kolejna, jakże przykra, niespodzianka.

Kiedy już inwestor podejmie decyzję o ociepleniu, często wybór systemu pozostawia wykonawcy lub brnie po ofertach sam. Skutkiem takiego działania jest najczęściej wybór systemu nieadekwatnego do potrzeb – często najtańszego lub, co gorsza, własna jego modyfikacja. W takich przypadkach zupełnie bezkarnie wybiera się dowolne rodzaje tynków elewacyjnych czy farb. Często podczas wykonywania ociepleń zapada decyzja o zmianie farby lub o wielokrotności jej nanoszenia. I znowu wpadamy w kolejną, przykrą pułapkę.

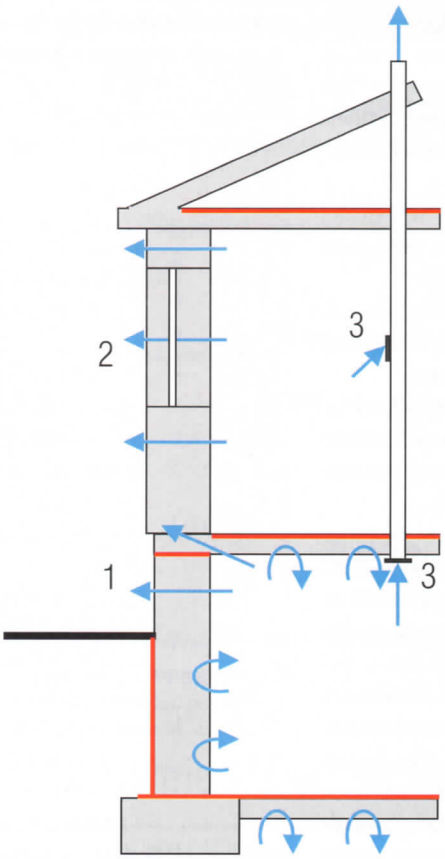
Tak modne ostatnio budynki wznoszone w technologii szkieletowej, sprawiają coraz więcej kłopotów podczas ich eksploatacji. Powodem jest lekceważenie norm lub wytycznych – szczególnie dotyczących właśnie ociepleń. Wielu stykającym się z tym rodzajem budynków wydaje się, że zmniejszenie energochłonności obiektu osiąga się dzięki położeniu kolejnych warstw ociepleniowych na ścianach czy stropach. Takie uproszczenie prowadzi do następnej – również przykrej – niespodzianki.

Ruch wilgoci

Dotychczas większą uwagę poświęcałem zjawiskom ruchu ciepła przez przegrody w budynku. Pora wreszcie wyjaśnić przyczynę powstawania wymienionych przykrych niespodzianek czy pułapek. Otóż, generalną przyczyną niepowodzeń w technice ociepleniowej jest albo nieznajomość, albo pomijanie podstawowych praw fizyki cieplnej budowli. Prawa te mówią, że oprócz ciepła przez przegrody budowlane przenika także wilgoć!

O jej istnieniu zapominają w Polsce prawie wszyscy, chociaż większość inżynierów budownictwa posiadła wiedzę na ten temat. Problem ruchu wilgoci poruszany jest w krajowej prasie technicznej tylko w nielicznych publikacjach. Pomijanie ruchu wilgoci przez przegrody utrwalają także obowiązujące polskie normy. PN-EN ISO 6946: 1998 normuje wprawdzie maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła U i metodę jego obliczania, ale nie zawiera żadnych danych na temat zagadnień ruchu wilgoci przez przegrody. Wprawdzie ciągle zapowiada się wprowadzenie dalszych rozdziałów, ale sam fakt rozdzielania pojęć ruchu ciepła od ruchu wilgoci już wprowadza wiele zamieszania. Projektanci, tworząc nowe przegrody w obiektach, spełniają jedynie wymagania co do górnych wartości współczynnika przenikania ciepła. Wprawdzie w normie PN-C-81913: 1998 można znaleźć definicję współczynnika oporu dyfuzyjnego w stosunku do pary wodnej, ale brak jest danych tego współczynnika dla materiałów stosowanych w budownictwie krajowym. Pewną namiastkę wymagań ruchu wilgoci można znaleźć w normie PN-B-10106: 1997, ale dotyczy ona tylko elewacyjnych warstw tynkarskich pocienionych. Brak połączenia wymagań cieplnych z wilgotnościowymi w przegrodach skutkuje i tym, że krajowi producenci nagminnie pomijają badanie współczynnika dyfuzji pary wodnej dla swoich produktów. Na moje pytanie, skierowane do największego polskiego producenta styropianu, o przyczynę braku tego współczynnika w ich materiałach reklamowo-technicznych, usłyszałem, że polskie normy nie wymuszają określania go przez producenta. Skąd zatem polski dociekliwy specjalista ma czerpać dane do obliczeń i analiz? Tymczasem, przeglądając dane techniczne zachodnich producentów wszelkich materiałów budowlanych, zawsze znajdziemy takie parametry, jak współczynnik dyfuzji pary wodnej czy nasiąkliwość wody.

A wilgoć jest wszędzie – zarówno w powietrzu zewnętrznym, jak i wewnętrznym. Występuje także we wszystkich materiałach budowlanych – nawet tych najbardziej, wydawałoby się, suchych. Ruch wilgoci wymaga osobnego



Rys. 3. Schemat przepływu wilgoci przez przegrody budynku o prawidłowo wykonanych izolacjach przeciwwilgociowych:
1 – infiltracja przez strefę cokołową, 2 – infiltracja przez ściany zewnętrzne, okna i drzwi, 3 – odpływ przez wentylację naturalną lub wymuszoną.

przeanalizowania w budynkach nowo projektowanych, a oddzielnego przy doborze ociepleń w obiektach istniejących. W budynkach nowych mamy bezpośredni wpływ na ruch ciepła i wilgoci, natomiast w obiektach starych trafiamy przeważnie na już ustabilizowany bilans tych dwóch parametrów. Alarmując o potrzebę traktowania ruchu ciepła i wilgoci w przegrodach budowlanych jako procesu nieodłącznego, postawmy pytanie: dlaczego wilgoć w przegrodach jest szkodliwa?

W ocenie stopnia szkodliwości pomagają zależności:

- w materiałach pochodzenia roślinnego wzrost wilgoci jest przyczyną korozji biologicznej,
- w materiałach pochodzenia mineralnego wykraplanie się wilgoci i zamarzanie powodują zmiany jej objętości, co prowadzi do destrukcji przy każdym przechodzeniu temperatury ciała przez 0°C,
- w materiałach pochodzenia mineralnego każdorazowe zawilgocenie i wysychanie, poprzez skurcz i pęcznienie niszczą ich strukturę.

Ponadto, wilgoć w przegrodach ma także bezpośredni wpływ na mikroklimat wokół człowieka oraz na koszty eksploatacyjne. Wilgoć z przegród, będąc zmuszona do wnikania do powietrza wewnętrznego, zwiększając jego wilgotność względną, jest przyczyną powstawania chorób reumatycznych i innych im pokrewnych. Wzrost wilgotności materiałów przegrody zwiększa także przewodnictwo cieplne jej całości lub wybranych stref, doprowadzając do znacznych strat ciepła, mimo ocieplenia, a także do tworzenia się „mostków cieplnych", powodujących powstawanie zawilgoceń, pleśni czy spękań tynków i powłok malarskich.

Aby zrozumieć istotę problemu, a co za tym idzie, uniknąć błędów na każdym szczeblu procesu budowlanego:

projektowym, wykonawczym czy decyzyjnym, każdy tworzący ocieplenia musi uzmysłowić sobie, że przebieg ruchu ciepła i wilgoci to procesy nieodłącznie ze sobą związane. Wilgoć w przegrodach występuje w kilku postaciach:

- chemicznie związana, w postaci krystalicznych cząstek związków uwodnionych (hydratów),
- fizyko-chemicznie związana ze strukturą wewnętrzną materiału (osmotyczna i adsorpcyjna),
- fizyko-mechanicznie zalegająca w kapilarach i porach, na skutek działania sił napięcia powierzchniowego i lepkości.

Dla potrzeb technicznych pominąć można dwie pierwsze postacie wilgoci. Każdy materiał budowlany posiada jakąś zawartość wilgoci, która ciągle ulega zmianom. Wilgoć ta powstaje w wyniku: procesu produkcji, zabudowy w przegrodzie, opadów atmosferycznych czy eksploatacji budynku. Ponadto, trzeba sobie uzmysłowić, że właściwie każdy materiał budowlany posiada strukturę porowatą z systemem kapilar i porów. Zupełnie inną strukturę mają materiały ociepleniowe, bowiem w wełnach jest ona włóknista, a w styropianie komórkowa. Przy ocenie intensywności ruchu wilgoci przez przegrody, zwrócić trzeba także uwagę na fakt zawartości wilgoci w postaci pary wodnej w powietrzu, w każdych właściwie warunkach. Otóż, jej zawartość w powietrzu jest tym większa, im wyższa jest jego temperatura oraz wilgotność względna. Stan ten reguluje ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu. Jeżeli ciśnienie to wewnątrz budynku będzie wyższe niż na zewnątrz (a takie warunki występują np. zimą), będzie zachodzić ruch wilgoci (dyfuzja pary wodnej) przez przegrodę w kierunku na zewnątrz. Ruch ten będzie tym większy, im wyższa wystąpi różnica ciśnień pary wodnej w tych powietrzach. Zatem, największą dyfuzję pary zaobserwujemy właśnie wtedy, gdy budynek będzie tracił ciepła najwięcej, tj. zimą, kiedy przegrody są najbardziej czułe na straty ciepła, a każda nieprawidłowość skutkować może ogromnymi nieraz nakładami finansowymi, niezbędnymi do likwidacji szkód i eliminacji ich przyczyn. Podczas spadku różnicy ciśnień dyfuzja pary będzie również malała, aż do zaniku, lub czasami przyjmie kierunek odwrotny, tj. w stronę pomieszczenia. Trzeba wiedzieć, że para wodna należy do najłatwiej przenikających przez przegrody budowlane mediów, bowiem do jej wnikania wystarczy rozmiar porów w materiale większy od 7 x 10^{-8} m. Dla porównania, średnica porów w materiałach budowlanych jest od 100 do 1000 razy większa.

Schemat przepływu wilgoci w warunkach zimowych, w budynku wzniesionym w technologii tradycyjnej, z prawidłowo wykonanymi izolacjami przeciwwilgociowymi przedstawia rysunek 3. Widać, że są tylko dwie drogi ucieczki pary wodnej: przez przegrody oraz kanałami wentylacyjnymi. W części nadziemnej ruch ten odbywa się przez rozległe powierzchnie ścian zewnętrznych, w części piwnicznej tylko przez wystające ponad grunt strefy ścian zewnętrznych (na co proszę o zwrócenie uwagi) – potocznie nazywanych strefami cokołowymi. Z tego tylko poglądowego rysunku wynika ważne stwierdzenie, że im bardziej ograniczymy ruch wilgoci przez przegrody, tym więcej uwagi poświęcić musimy organizacji wentylacji i wykonaniu obliczeń cieplno-wilgotnościowych projektowanych przegród we wszystkich pomieszczeniach budynku, i odwrotnie. Uwagi te dotyczą wszystkich, bez wyjątku, budynków: zarówno dużych, jak i małych, wysokich oraz niskich.

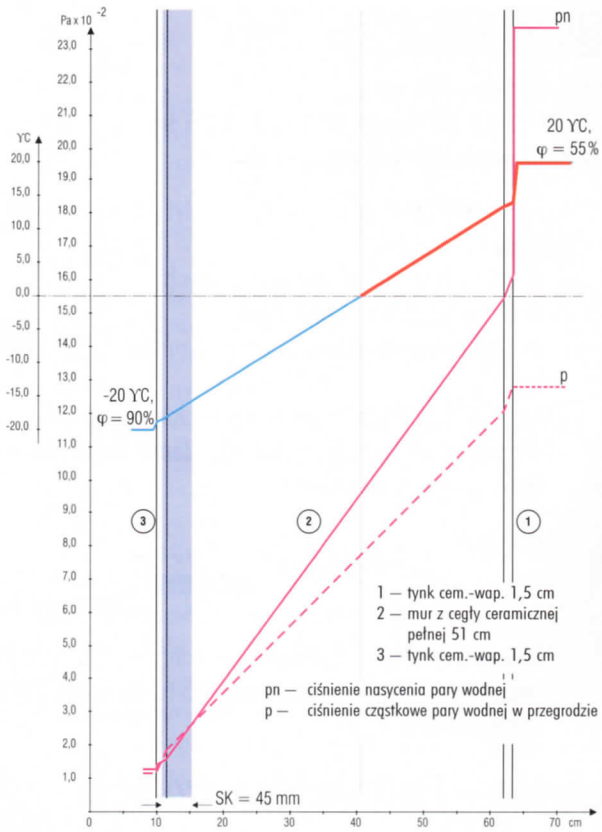
Tablica 3.
Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegrody: mur z cegły pełnej obustronnie otynkowany.

Lp.	Warstwa	d	λ	d/λ	Δt	t	p_n	δ x 10^4	d/δ	Δp	p	μ	S_d
		m	W/mK	m^2K/W	K	°C	Pa	g/mhPa	m^2hPa/g	Pa	Pa	–	m
	powietrze			0,120		20,0	2333				1282		
	+20°C φ =55%				5,8	14,2	1615						
	+20°C φ =55%			0,120		20,0	2333				1282		
					6,7	13,3	1527						
	+20°C φ =60%			0,120		20,0	2333				1399		
					7,2	12,8	1475						
1.	tynk cem.-wap.	0,015	1,05	0,014	0,7	13,5	1547	0,451	332,6	70	1212	16	0,24
			1,05	0,014	0,8	12,5	1446			70	1212		
			1,12	0,013	0,8	12,0	1399			77	1322		
2.	mur z cegły ceram. pełnej	0,51	0,79	0,646	31,0	-17,5	154	1,053	4845,2	1027	185	7	3,57
			0,95	0,537	29,9	-17,4	156			1027	185		
			1,05	0,486	29,0	-17,0	161			1129	193		
3.	tynk cem.-wap.	0,015	1,16	0,013	0,6	-18,1	146	0,451	332,6	70	114	16	0,24
			1,39	0,011	0,6	-18,0	148			70	114		
			1,39	0,011	0,7	-17,7	152			77	116		
	powietrze			0,040	1,9	-20,0	125				113		
	-20°C φ =90%				2,2								
					2,4								
		ΣR_i =	0,833	0,722	0,672			ΣR_{vi} =	5510,2	5510,2	5510,2		

Współczynnik przenikania ciepła	U=1,20 W/m^2K	1,39 (+ 16%)	1,49 (+ 24%)
Gęstość strumienia cieplnego	q=48,0 W/m^2	55,6	59,6
Gęstość dyfundującej pary	q_v=0,212 g/m^2h	czarne – dane obliczeniowe	
	q_v=0,212	niebieskie – stan istnienia strefy kondensacji (SK)	
	q_v=0,233	czerwone – niesprawna wentylacja	

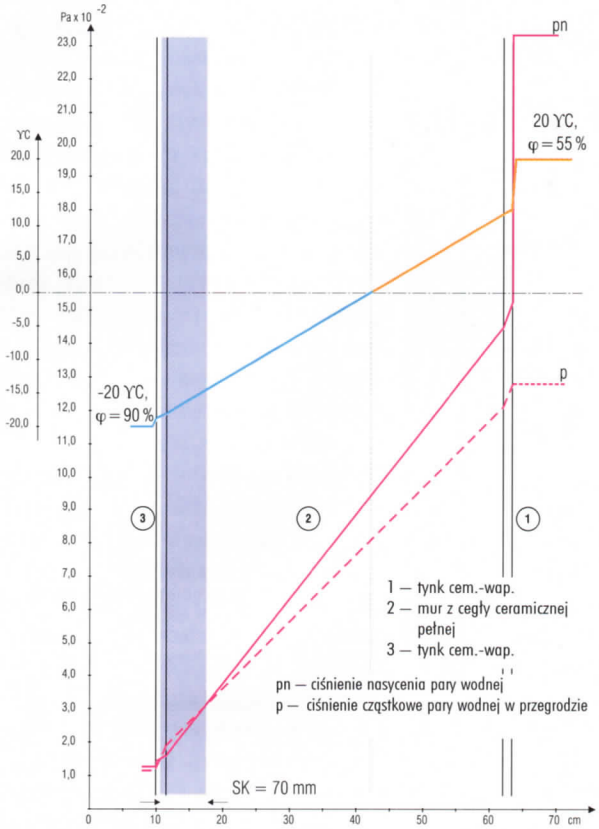
Przykłady z życia wzięte

W celu sprawdzenia, co się dzieje wewnątrz przegród, weźmy jako przykład mur z cegły ceramicznej, pełnej grubości 51 cm, obustronnie otynkowany, leżący w strefie zewnętrznej temperatury -20°C i wilgotności względnej powietrza 90%. W tym samym czasie, wewnątrz niechaj panuje temperatura +20°C i wilgotność powietrza 55% (typowa obliczeniowa). Wyniki obliczeń cieplno-wilgotnościowych tej przegrody przedstawiono kolorem czarnym w tablicy 3., natomiast graficzny ich obraz ukazuje rysunek 4. Obliczeniowy współczynnik przenikania ciepła U wyniósł 1,20 W/m^2K, gęstość strumienia cieplnego 48,0 W/m^2, zaś gęstość dyfundującej pary wodnej wyniosła 0,212 g/m^2h. Widać, że krzywe linii ciśnień: cząstkowego i nasycenia pary wodnej, przecinają się, dając strefę

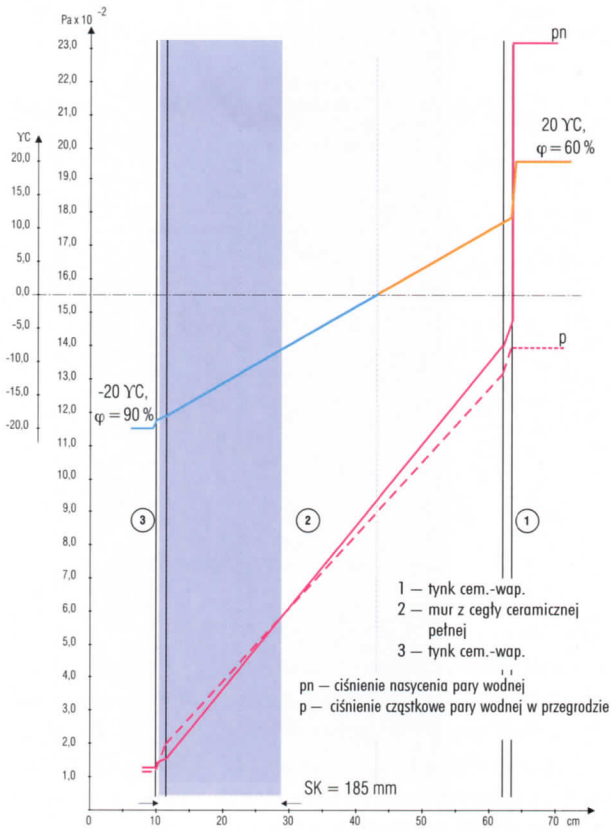


Rys. 4. Analiza cieplno-wilgotnościowa (ściana pełna), stan obliczeniowy.

kondensacji (SK) pary wodnej o grubości 45 mm. W strefie tej wystąpi kondensacja pary wodnej, w wyniku czego wzrośnie współczynnik przewodzenia ciepła tej części muru i tynku ponad wartości obliczeniowe. Spowoduje to nowy rozkład ciśnień pary wodnej w murze, a także nowe natężenie jej dyfuzji. Wynik poprawionych obliczeń przedstawiono w tablicy 3. kolorem niebieskim, a ich obraz na rysunku 5. Strefa kondensacji zwiększyła się z 45 mm do 47 mm, co spowodowało wzrost współczynnika U do wartości 1,39 W/m²K, czyli wzrost o 16%. W wyniku większych niż obliczeniowe strat ciepła, przesunęła się także linia temperatury 0°C, bliżej wewnętrznej powierzchni przegrody. Istnienie strefy kondensacji oraz jej zamarzanie i odtajanie powodować będzie niszczenie tynku zewnętrznego, a po jego odspojeniu, także dalszą destrukcję cegieł (kruszenie się i odpadanie płatami). Przykładowy obraz takich zniszczeń tynku, już po kilku latach, przedstawia fotografia 1., a destrukcję spowodowaną wykraplaniem się wilgoci po ponad dwudziestu latach – fotografia 2. Zauważmy jeszcze inny ujemny wpływ istnienia strefy kondensacji pary wodnej. Otóż, jeżeli na podstawie obliczeń cieplnych (z pominięciem ruchu wilgoci) zostaną dobrane moce cieplne grzejników c. o., to w wyniku pojawienia się strefy kondensacji, o 16% wzrośnie zapotrzebowanie na ciepło w tych pomieszczeniach. W takim przypadku użytkownik ma do wyboru: płacić za ciepło o 16% więcej, w celu utrzymania temperatury +20°C, albo płacić mniej, ale przebywać w temperaturze niższej o ok. 2°C niż wymagana. Zwykle mamy do czynienia z pierwszym rozwiązaniem, bowiem użytkownik nawet nie ma pojęcia o wykraplającej się wewnątrz ściany wilgoci. Czytelników proszę o zauważenie, że obliczenia zostały przeprowadzone przy wilgotności powietrza wewnętrznego sięgającej 55%. Tymczasem, jak wskazują liczne badania i pomiary (również moje), na skutek zwiększonej emisji wilgoci wewnątrz mieszkań, a także niemal nagminnego zaklejania otworów kratek wentylacyjnych, poziom wilgotności względnej jest znacznie wyższy i wynosi od 60 do 75%. Jeżeli zatem w naszym przypadku nastąpi wzrost wilgotności tylko do 60%, to zwiększy się współczynnik przenikania ciepła (obliczenia zaznaczone kolorem czerwonym w tablicy 3.) do nowej wartości 1,49 W/m²K, tj. aż o 24% w stosunku do obliczeniowej. Graficzny obraz obliczeń przedstawia rysunek 6. Zwróćmy uwagę na fakt, że strefa kondensacji wzrasta teraz do 185 mm, a linia graniczna 0°C przesunęła się o 3 cm w kierunku wnętrza, w stosunku do wartości obliczeniowej. Mamy teraz do czynienia z typowym „samobójstwem" budowlanym, bowiem użytkownik zwiększając emisję wilgoci, zmniejszył możliwość jej wydostania się przez wentylację, zmusił przegrody do zwiększenia dyfuzji pary wodnej i spowodował wzrost i tak już niekorzystnej strefy kondensacji. Teraz opłaty za ciepło wzrosną przynajmniej o 25% i więcej, bowiem w wilgotnym powietrzu wewnętrznym trzeba uzyskać wyższą temperaturę, w celu zapewnienia odpowiedniej dla



Rys. 5. Analiza cieplno-wilgotnościowa (ściana pełna), stan z uwzględnieniem kondensacji pary.



Rys. 6. Analiza cieplno-wilgotnościowa (ściana pełna), stan kondensacji pary przy niesprawnej wentylacji.

człowieka temperatury odczuwalnej. Myślę, że gdyby spółdzielnie mieszkaniowe przedstawiły ten obraz swoim mieszkańcom – szczególnie w budynkach wznoszonych przed rokiem 1985, spowodowałoby to lawinową likwidację zaklejeń kratek wentylacyjnych.

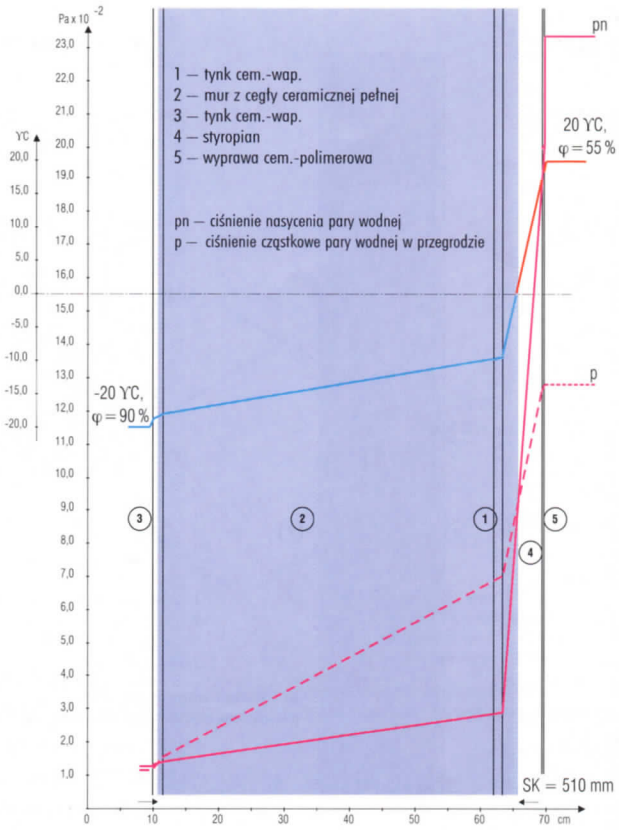
Ocieplamy

Aby dobrze poznać metodykę wyboru ocieplen, ocieplijmy mur z powyższego przykładu. W kraju mamy ciągle do czynienia z wątpliwościami dotyczącymi lokalizacji ocieplen: wewnątrz czy na zewnątrz przegrody? Sam wielokrotnie spotykałem się nie tylko z takimi pytaniami, ale miałem czasami do czynienia z przypadkami ocieplania od wewnętrznej strony przegród (ścian i stropów) – i to nie tylko w budynkach jednorodzinnych, ale także w wielorodzinnych czy, np., w cerkwi. Rozpatrzmy zatem nasz przypadek z ocieplenie styropianem grubości 6 cm od wewnątrz. Wyniki obliczeń przedstawia tablica 4., a ich obraz graficzny rysunek 7. Na pozór uzyskaliśmy poprawę warunków cieplnych przegrody, bowiem współczynnik przenikania ciepła U zmalał do 0,43 W/m²K, co spowoduje zmniejszenie strat ciepła o 64%. Zmniejszyła się też gęstość dyfuzji pary wodnej do poziomu 0,106 g/m²h. Jednakże spójrzmy na rysunek, gdzie widać wyraźnie, że strefa kondensacji wzrosła radykalnie do 510 mm i objęła niemal całą grubość ściany. Linia graniczna temperatury 0°C przesunęła się aż do środka warstwy styropianu. Taki stan wilgotności przegrody jest nie do przyjęcia, mimo zmniejszenia się strat ciepła! Niezależnie od grubości ocieplenia, będziemy mieli do czynienia z wypływaniem skroplin

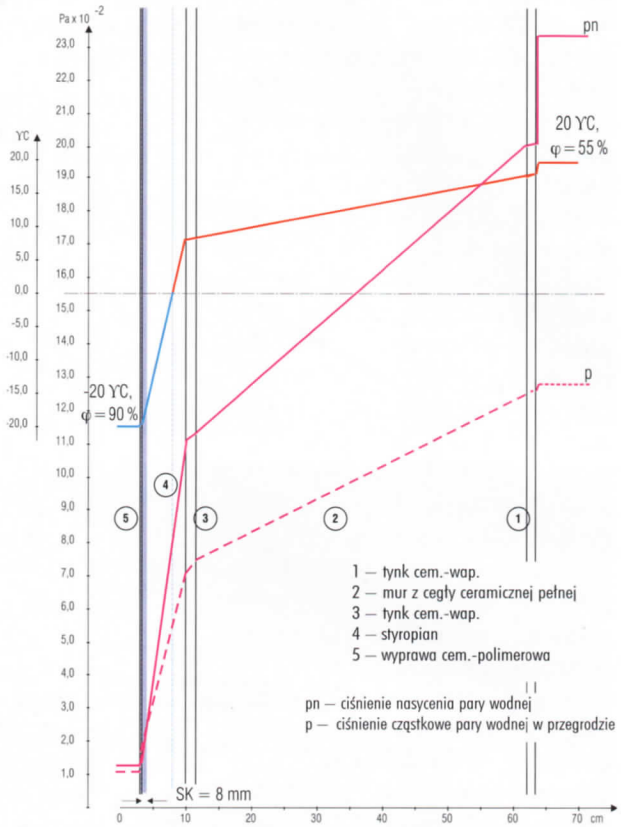
Tablica 4.
Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegrody: mur z cegły pełnej obustronnie otynkowany (ocieplony od wewnątrz).

Lp.	Warstwa	d	λ	d/λ	Δt	t	p_n	δ x 10⁴	d/δ	Δp	p	μ	S_d
		m	W/mK	m²K/W	K	°C	Pa	g/mhPa	m²hPa/g	Pa	Pa	–	m
	powietrze			0,120		20,0	2333				1282		
	+20°C φ =55%				2,1	17,9	2045						
1.	wyprawa cem.-pol.	0,003	0,80	0,004	0,1	17,8	2032	0,150	200,0	21,0	1262	50	0,15
2.	styropian FS-15	0,06	0,037	1,622	27,6	-9,8	290	0,113	5309,7	563	698	30	1,8
3.	tynk cem.-wap.	0,015	1,05	0,014	0,2	-10,0	285	0,451	332,6	35,0	663	16	0,24
4.	mur z cegły ceram. pełnej	0,51	0,95	0,537	9,1	-19,1	135	1,053	4845,2	514	149	7	3,57
5.	tynk cem.-wap.	0,015	1,16	0,013	0,2	-19,3	132	0,451	332,6	35	114	16	0,24
	powietrze			0,040	0,7	-20,0	125				113		
	-20°C φ =90%												
			ΣR_i =	2,35				ΣR_{vi} =	11.020,1				

Współczynnik przenikania ciepła	U = 0,43	W/m²K	
Gęstość strumienia cieplnego	q = 17,20	W/m²	-64%
Gęstość dyfundującej pary	q_v = 0,106	g/m²h	-50%



Rys. 7. Analiza cieplno-wilgotnościowa (ściana pełna ocieplona styropianem od wewnątrz), stan obliczeniowy.



Rys. 8. Analiza cieplno-wilgotnościowa (ściana pełna), stan kondensacji pary przy niesprawnej wentylacji.

spod warstwy ocieplenia na podłogę. O warunkach mikroklimatu nawet nie wspominam. Mam nadzieję, że teraz żaden z Czytelników nie będzie już miał wątpliwości, z której strony przegrody ocieplać. Należy przyjąć zasadę, że ocieplenie montujemy zawsze od zimniejszej strony przegrody. Ocieplajmy zatem naszą ścianę od zewnątrz tym samym materiałem i o tej samej grubości. Wyniki obliczeń przedstawia tablica 5., a obraz graficzny wyników ukazuje rysunek 8. Otrzymaliśmy niemal takie same parametry cieplne, ale spójrzmy na rysunek. Strefa kondensacji pary przesunęła się na zewnątrz i wynosi tylko 8 mm, a linia graniczna temperatury 0°C posadowiła się wewnątrz styropianu. Mamy zatem w efekcie całą masę muru w temperaturze dodatniej. Czytelnikom wyjaśniam, że celowo przyjąłem tak powszechnie (nie wiadomo skąd) stosowaną grubość styropianu 6 cm. Stąd w naszym przykładzie uzyskaliśmy wyraźną poprawę właściwości cieplno-wilgotnościowych przegrody, ale zapewniam, że w celu zupełnego wyeliminowania wykraplania się wilgoci, tj. SK = 0, należałoby teoretycznie zastosować grubość styropianu wynoszącą 65 mm (zaokrąglając do 70 mm). Jeżeli jednak w omawianym przypadku powstałaby możliwość zwiększonej emisji pary wodnej, grubość izolacji należałoby odpowiednio zwiększyć.

Dotychczasowe rozważania dotyczyły ściany starego typu, tj. z cegły pełnej grubości 51 cm (przypadek termorenowacji). Spójrzmy jeszcze na

Tablica 5.
Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegrody: mur z cegły pełnej obustronnie otynkowany (ocieplony od zewnątrz).

Lp.	Warstwa	d m	λ W/mK	d/λ m²K/W	Δt K	t °C	p_n Pa	δ x 10⁴ g/mhPa	d/δ m²hPa/g	Δp Pa	p Pa	μ –	S_d m
	powietrze			0,120		20,0	2333				1282		
	+20°C φ=55%				2,0	18,0	2045						
1.	tynk cem.-wap.	0,015	1,05	0,014	0,2	17,8	2032	0,451	332,6	34,0	1248	16	0,24
2.	mur z cegły ceram. pełnej	0,51	0,95	0,537	9,1	8,7	1122	1,053	4845,2	501,0	747	7	3,57
3.	tynk cem.-wap.	0,015	1,05	0,014	0,2	8,5	1107	0,451	332,6	34	713	16	0,24
4.	styropian FS-15	0,06	0,037	1,622	27,6	-19,1	135	0,113	5309,7	549	164	30	1,8
5.	wyprawa cem.-akrylowa	0,003	0,80	0,004	0,1	-19,2	132	0,062	483,9	50	114	121	0,36
	powietrze -20°C φ=90%			0,040	0,8	-20,0	125				113		
				ΣR_i = 2,351				ΣR_{vi} = 11.304,0					

Współczynnik przenikania ciepła U = 0,425 W/m²K -1,2%
Gęstość strumienia cieplnego q = 17,01 W/m²
Gęstość dyfundującej pary q_v = 0,103 g/m²h -2,8%
Wymagana min. grubość ocieplenia 65 mm (dla zabezpieczenia się przed wykraplaniem pary).

współczesną ścianę, np. warstwową, tak uwielbianą przez naszych projektantów. Weźmy następujące warstwy od wewnątrz: pustak ceramiczny Max, grubości 29 cm; styropian FS-15, grubości 6 cm; cegła kratówka, grubości 12 cm – wszystko to w identycznych warunkach obliczeniowych. Wyniki obliczeń przedstawia tablica 6., a ich obraz graficzny – rysunek 9. Otrzymaliśmy zadowalający projektantów przypadek, ze spełnieniem wymagań normy ochrony cieplnej budowli: współczynnik przenikania ciepła U, wynoszący 0,39 W/m²K oraz w miarę poprawną gęstość dyfuzji pary wodnej 0,134 g/m²h. Jednakże, spójrzmy na rysunek. Niestety, występuje tutaj strefa kondensacji wynosząca aż 135 mm, tj. pokrywająca całą cegłę zewnętrzną i sięgająca niemal do połowy warstwy ocieplenia. Zaznaczam, że podobne wyniki otrzymamy zastępując warstwę cegły kratówki, cegłą licową (tak uwielbianą przez dzisiejszych architektów). Taki układ świadczy o wykraplaniu się wilgoci również wewnątrz ocieplenia. Wynika stąd konieczność umieszczenia izolacji przeciwwodnej w dolnym pasie ocieplenia, od strony wewnętrznej, pod najniższą zewnętrzną warstwą cegły. W celu umożliwienia ujścia skroplin na zewnątrz, w najniższym pasie cegieł (nad izolacją) musimy przewidzieć szereg otworów pomiędzy cegłami lub obsadzić specjalne kratki wylotowe, o których pisałem w „Kalejdoskopie Budowlanym" 10/98. Zaznaczam też, że obliczeniowo należałoby zastosować grubość izolacji cieplnej wynoszącą 70 mm, z tym samym zastrzeżeniem, co poprzednio. Muszę, niestety, donieść, że już pojawiają się oznaki zniszczeń elewacji, powstałych na skutek nieprzemyślanego stosowania ścian warstwowych, takich jak w powyższym przykładzie.

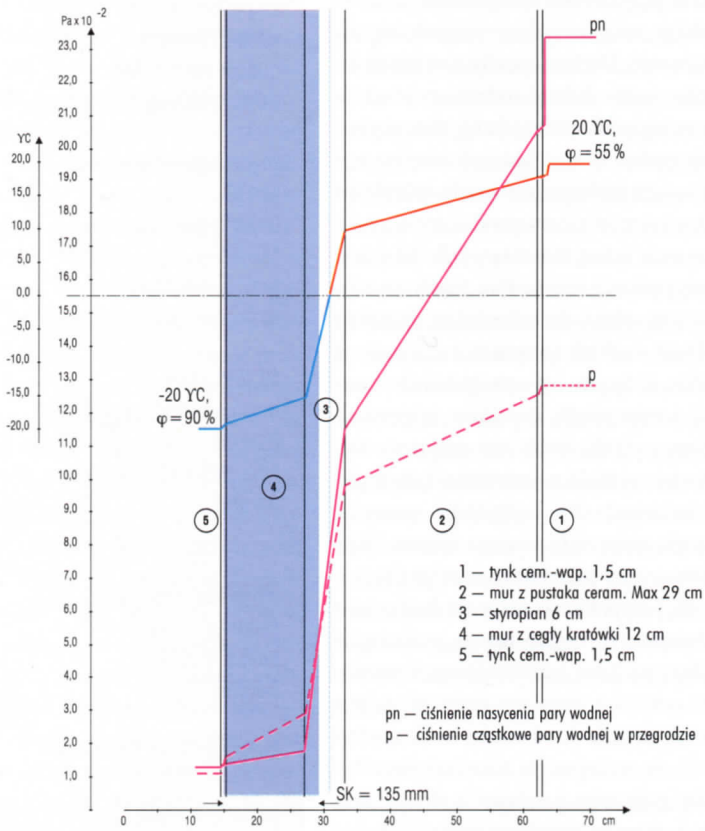
Tablica 6.
Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegrody: mur warstwowy (ocieplony wewnątrz styropianem).

Lp.	Warstwa	d	λ	d/λ	Δt	t	p_n	δ x 10⁴	d/δ	Δp	p	μ	S_d
		m	W/mK	m²K/W	K	°C	Pa	g/mhPa	m²hPa/g	Pa	Pa	–	m
	powietrze			0,120		20,0	2333				1282		
	+20°C φ=55%				1,9	18,1	2072						
1.	tynk cem.-wap.	0,015	1,05	0,014	0,2	17,9	2046	0,451	332,6	45	1237	16	0,24
2.	pustak ceram. Max	0,29	0,52	0,558	8,7	9,2	1161	1,504	1928,2	259	978	5	1,45
3.	styropian FS-15	0,06	0,037	1,622	25,2	-16,0	175	0,113	5309,7	713	265	30	1,8
4.	cegła kratówka	0,12	0,58	0,207	3,2	-19,2	134	1,504	797,9	107	158	5	0,6
5.	tynk cem.-wap.	0,015	1,16	0,013	0,2	-19,4	131	0,451	332,6	45	113	16	0,24
	powietrze			0,040	0,6	-20,0	125				113		
	-20°C φ=90%												
				ΣR_i =	2,574				ΣR_{vi} =	8.701,0			

Współczynnik przenikania ciepła U = 0,39 W/m²K
Gęstość strumienia cieplnego q = 15,54 W/m²
Gęstość dyfundującej pary q_v = 0,134 g/m²h
Wymagana min. grubość ocieplenia 70 mm (dla zabezpieczenia się przed wykraplaniem pary).

Opór dyfuzyjny pary wodnej

Biorąc pod uwagę tak trudne do ujarzmienia zjawisko ruchu wilgoci, już dawno w normach zachodnioeuropejskich ustalono zasadę, że poszczególne warstwy w przegrodach zewnętrznych trzeba tak dobierać, aby ich opór dyfuzyjny w stosunku do pary wodnej był coraz mniejszy, w kierunku najczęstszego ruchu, tj. w stronę zewnętrzną. Tylko takie zorganizowanie składu przegrody pozwala skutecznie odprowadzać wilgoć przez przegrody z wnętrza na zewnątrz. Jeśli jednak nie zostanie spełniony ten wymóg, w warstwach przegrody, gdzie wzrośnie ciśnienie cząstkowe pary wodnej, nieuchronnie wystąpi wykraplanie się wilgoci. Opór dyfuzyjny w stosunku do pary wodnej oblicza się jako iloczyn współczynnika oporu dyfuzyjnego materiału μ przez grubość warstwy tego materiału, otrzymując międzynarodową wielkość porównawczą S_d. Wybrane



Rys. 9. Analiza cieplno-wilgotnościowa (ściana warstwowa ocieplona wewnątrz).

przykładowe zastępcze opory dyfuzyjne i ich współczynniki oporu dyfuzyjnego niektórych materiałów budowlanych przedstawia tablica 7. Jeszcze jedna uwaga: od momentu kondensacji pary, w przegrodzie zajdzie dodatkowo inne zjawisko, tak dotkliwie porażające użytkownika budynku, tj. silny wzrost wykraplającej się wilgoci, z tytułu dodatkowego jej transportu, pod wpływem sił kapilarnych ponad dyfuzję pary.

Kolejność warstw

Z tych (tylko pobieżnie) omówionych zjawisk i praw wynikają, jakże znamienne, reguły przy tworzeniu przegród zewnętrznych czy ich ocieplania. W żadnym miejscu przegrody nie może powstać opór dyfuzyjny w stosunku do pary wodnej większy niż w warstwie poprzedzającej w kierunku ruchu wilgoci! Dopiero kierując się tą prawidłowością można świadomie zaprojektować skład przegród w budynku. Stąd zachodzi czasami konieczność zastosowania szczelin powietrznych w odpowiednich warstwach przegrody, a także obowiązkowe wykonanie pasa hydroizolacji na wysokości oparcia muru licowego! Właśnie w powyższym przykładzie obliczeniowym należałoby taką szczelinę powietrzną zastosować. Dopiero posiłkując się tą regułą można dobrać rodzaj czy strukturę ocieplenia, rodzaj farby elewacyjnej lub tynku. Dla niektórych murów wykluczone będzie stosowanie ocieplenia wewnątrz, a zatem wykluczone zastosowanie ścian warstwowych. W wielu przypadkach nie będzie możliwe użycie styropianu do ociepleń w metodzie lekkiej mokrej (ostatnio nazywanych SBO). Z reguły tej wyniknie też czasami konieczność dobrania odpowiedniego rodzaju farby czy wyprawy wewnętrznej bądź zewnętrznej (nie mylić z kolorem) dla budynków nowych. Skutki nieprzemyślanego doboru farby elewacyjnej przedstawia fotografia 3.

W przypadkach ociepleń budynków istniejących, często razem z dociepleniem, podczas termorenowacji wyniknie potrzeba wymiany farby wewnątrz pomieszczeń. Ktoś może teraz stwierdzić, że najlepszym rozwiązaniem byłoby całkowite zamknięcie drogi parze wodnej już w pomieszczeniu. Jednakże nie jest to możliwe, bowiem dla zapew-

Tablica 7.
Wybrane przykładowe zastępcze opory dyfuzyjne niektórych materiałów budowlanych.

Materiał	Wsp. oporu dyfuzji pary wodnej μ	Grubość	Opór dyfuzyjny S_d
IZOLACJE			
styropian FS-12	20	4 cm	0,8
		8 cm	1,6
		10 cm	2,0
styropian FS-15	30	4 cm	1,2
		8 cm	2,4
		10 cm	3,0
styropian FS-20	66	4 cm	2,6
		8 cm	5,2
		10 cm	6,6
wełna szklana	1,3	4 cm	0,05
		8 cm	0,10
		10 cm	1,30
wełna mineralna	1,5	4 cm	0,06
		8 cm	0,12
		10 cm	1,50
pianka neoprenowa	12	4 cm	0,48
		8 cm	0,96
		10 cm	1,20
MURY			
beton	30	12 cm	3,6
		25 cm	7,5
		40 cm	12,0
cegła ceram. pełna	7	25 cm	1,8
		38 cm	2,7
		51 cm	3,6
cegła klinkierowa	15	12 cm	1,8
kamień łamany	35	10 cm	3,5
pustak ceram. Max	5	29 cm	1,5
cegła kratówka	5,5	12 cm	0,7
		25 cm	1,4
bloczki gazobetonowe M700	6	24 cm	1,5
		37 cm	2,3
bloczki gazobetonowe M600	5	12 cm	0,6
		24 cm	1,2
tynk cementowy	19	1,5 cm	0,29
tynk cem.-wap.	16	1,5 cm	0,24
OCIEPLENIA			
masa klejowo-szpachlowa Baumit	50	4 mm	0,2
tynk akrylowy Granolan Baumit	121	1 mm	0,12
		2 mm	0,24
		3 mm	0,36
masa klejowo-szpachlowa Haftmortel Baumit	18	4 mm	0,07
tynk silikatowy Baumit	37	1 mm	0,04
		2 mm	0,07
		3 mm	0,12
farba akrylowa Granolan	200	0,25 mm	0,05
		0,50 mm	0,10
farba silikatowa Baumit	31	0,25 mm	0,008
		0,50 mm	0,016

3

Rysunki i fotografie autora.

nienia zarówno mikroklimatu pomieszczeń, jak też pewnej równowagi wilgotnościowej otaczających przegród, musi występować dyfuzja pary wodnej, ale właśnie w sposób uporządkowany.

O tym, jak wielkie znaczenie ma omawiany ruch wilgoci, niechaj świadczy obowiązująca np. w Niemczech reguła Künzla, mówiąca, że iloczyn współczynnika pochłaniania wody i oporu dyfuzyjnego dla pary nie może być większy niż 0,1 $kg/mh^{0,5}$ dla wyprawy elewacyjnej, a jej zastępczy opór dyfuzyjny nie może być większy niż 2 m, przy nasiąkliwości nie przekraczającej 0,5 $kg/m^2h^{0,5}$. Warstwy przegrody oddadzą w fazie wysychania więcej wilgoci niż może wsiąknąć podczas opadów, a zatem przegroda nie tylko „oddycha" prawidłowo, ale nawet przy deszczowej pogodzie nadal wysycha! Na szczęście, i w Polsce ten problem został już zauważony, bowiem podobne wymagania zostały zawarte w znowelizowanej polskiej normie PN-B-10106: 1997 dla mas tynkarskich pocienionych. Pomimo wymagań normy, tylko niewielka liczba projektantów podczas tworzenia dokumentacji próbuje analizować swoje projekty pod względem cieplno-wilgotnościowym. Wykonawcy zaś, w przerażającej większości, nie mają o tym żadnego pojęcia, o czym świadczą choćby bezmyślne zastosowania ociepleń, efektem których jest cytowany na wstępie stan błogiej nieświadomości. Poza ceną bowiem, jedynym kryterium ociepleń jest albo włożenie styropianu pomiędzy warstwy podczas murowania, albo sprawdzenie, czy system ociepleń trzyma się mocno ściany.

Do omawianych już mankamentów stosowania nieprzemyślanych ociepleń, jak oliwę do ognia, należy jeszcze dodać zupełnie dowolny wybór przy towarzyszącej ociepleniom wymianie okien. Rzeczywiście, walcząc o kilkuprocentowe zmniejszenie strat ciepła, wskazana jest wymiana starych okien (o dużym współczynniku przenikania ciepła) na nowe, energooszczędne. Jednakże zapomina się, że okna te są też powietrznie uszczelnione, co przy nie zmienionym systemie wentylacji (a tak jest najczęściej w praktyce), prowadzi natychmiast do zwiększenia wilgotności względnej powietrza i związanych z tym problemów z wykraplaniem wilgoci, np. na szybach czy w nadprożach (a w budynkach już ocieplonych szczególnie przy balkonach). Wynika stąd jeszcze jedna konieczność: dobierając ocieplenia nie można pominąć ruchu wilgoci w całej masie budynku, a zatem nie należy zapominać o organizacji wentylacji. Problem ten w budynkach niskich można rozwiązać przez stosowanie w oknach odpowiednio regulowanych wlotów wentylacyjnych. W obiektach wysokich problem jest dużo bardziej złożony, bowiem w budynkach do 5 kondygnacji wentylacja grawitacyjna jest skuteczna przy temperaturze powietrza zewnętrznego poniżej +12°C, do 8 kondygnacji – dopiero poniżej – 4°C, natomiast w budynkach do 11 kondygnacji tylko poniżej – 12°C. Wynika stąd konieczność albo zastosowania wentylacji wymuszonej, albo przynajmniej wprowadzenia kratek wentylacyjnych o regulowanych wlotach na całej wysokości budynku. Następną kroplą oliwy jest konieczność dopasowania, czyli regulacji, instalacji centralnego ogrzewania do nowych potrzeb po ociepleniu budynku – temat na kolejny artykuł.

Mam nadzieję, że teraz wyraźnie widać, jak bardzo przemyślane muszą być wszystkie zagadnienia związane nie tylko z projektowaniem budynków „ciepłych", ale i termomodernizacją istniejących – szczególnie w czasie, gdy spodziewać się należy prawdziwego boomu na ocieplenia, w związku z ustawą o termomodernizacji i związanymi z tym kredytami. Mam nadzieję, że banki udzielające kredytów powołają komisje składające się ze specjalistów fizyki budowli, celem rzetelnej kontroli nie tylko projektów, ale i audytów energetycznych, inaczej wspólne pieniądze pójdą na straty. Mam też nie ukrywaną nadzieję, że wreszcie nadeszły dobre czasy dla specjalistów z dziedziny fizyki budowli i ogrzewnictwa, a nasi inwestorzy nie będą musieli po wydaniu pieniędzy na inwestycje zamartwiać się, że wiszą, jak nad przepaścią na konopnej linie.

mgr inż. Jerzy B. Zembrowski
Doradca Technologii Budowlanych
Białystok