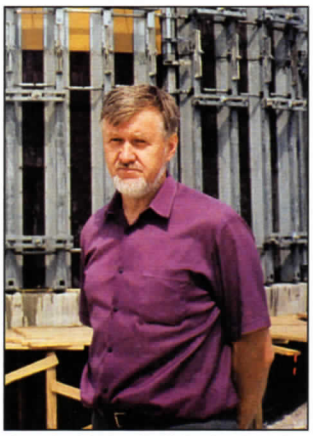
Wewnętrzne ocieplenia przegród budowlanych

mgr inż. Jerzy B. Zembrowski



Doradca Technologii Budowlanych z Białegostoku.

Dobór ocieplenia, to nie tylko zapewnienie współczynnika przenikania ciepła na poziomie odpowiadającym normie, ale przede wszystkim umożliwienie parze wodnej swobodnego przepływu na zewnątrz oraz uniknięcie wykraplania się wilgoci wewnątrz przegrody.

Po ukazaniu się dwóch wcześniejszych artykułów o świadomym ocieplaniu („Extra Kalejdoskop" 1/2000 oraz „KB" 3/2000) ciągle napływają zarówno do mnie, jak też bezpośrednio do Redakcji liczne zapytania i prośby o dalsze przybliżenia problemu ocieplania przegród budowlanych. Niektóre problemy – warte szerszego opisu na łamach pisma – poruszam w artykułach, na niektóre zaś odpowiadam listownie bezpośrednio zainteresowanym. Tak żywy odbiór jest niezwykle przyjemny i świadczy o ciągle aktualnej tej właśnie tematyce. Mimo tych zawodowych przyjemności, jest jednakże w tym odbiorze coś smutnego. Otóż, na poruszane problemy reagują zwykle wykonawcy zawodowi oraz pojedynczy budujący we własnym zakresie czy indywidualni inwestorzy z troską przyglądający się swoim budynkom już istniejącym bądź właśnie wznoszonym. Nie pojawiają się natomiast zapytania od projektantów – jeśli pominę te od zaprzyjaźnionych, którzy wolą zapytać niż błądzić.

Bardzo prawdopodobne, że istotna przyczyna tego stanu tkwi w aktualnie obowiązujących normach budowlanych wskazujących na konieczność takiego doboru warstw przegród tracących ciepło, aby nie przekroczone były dopuszczalne współczynniki przenikania ciepła U oraz w konsekwencji odpowiednio ograniczone roczne zapotrzebowanie ciepła E dla budynku. Tak niskie normowe wymagania rzeczywiście mogą ograniczać uwagę projektantów jedynie do spełnienia tychże norm. Mam nie ukrywaną nadzieję, że zapowiadane już od pewnego czasu rządowe rozszerzenia przyswajanych norm unijnych, zostaną uzupełnione o „zagubione" gdzieś normy Unii dotyczące sprawdzania możliwości wykraplania się wilgoci w przegrodach. Wówczas poruszana przeze mnie tematyka świadomego ocieplania czy docieplania, nabierze zapewne odpowiednich wartości. Tak czy inaczej, wygląda na to, że znacznie wyprzedzamy krajowe normy, które (mówiąc prosto) są znacznie opóźnione w stosunku do rozwoju budownictwa. Zatem wiedząc, że o jakości projektowania świadczy nie suche przestrzeganie norm, ale przestrzeganie zasad fizyki budowli, wróćmy do kontynuowanej tematyki świadomego ocieplania. Świadomego, to znaczy z pełną odpowiedzialnością przestrzegania zasad doboru poszczególnych elementów składowych czy konsekwencji popełnianych błędów.

Dlaczego boimy się wilgoci

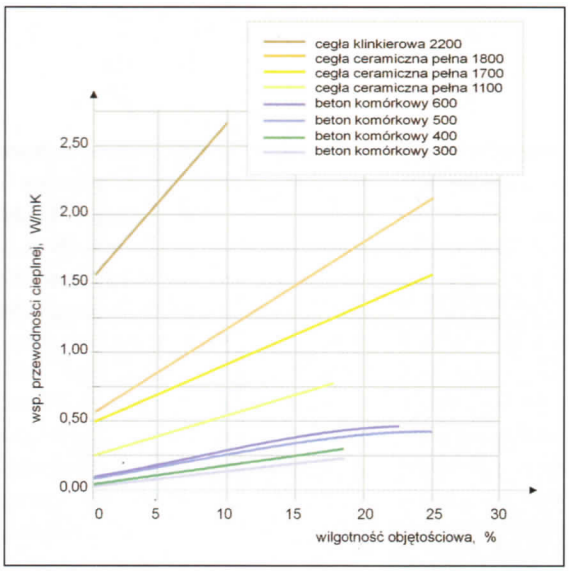
Wielokrotnie już pisałem o nieuchronnym powiązaniu zjawiska ruchu ciepła przez przegrody z ruchem wilgoci. Ruch ciepła zawsze jest ukierunkowany od temperatury powietrza wyższej do niższej. Ruch wilgoci zaś odbywa się zawsze w kierunku od ciśnienia cząstkowego wyższego do niższego. W naszym klimacie ruchy te występują od strony wnętrza budynków w kierunku powietrza zewnętrznego. Stąd wynika tak częste przypominanie o jednoczesności ruchu ciepła i wilgoci. O szkodliwości ucieczki ciepła wiedzą chyba wszyscy – nawet laicy. Nadmierna czy niekontrolowana ucieczka ciepła, to nadmierne koszty utrzymania budynku wynikające z wysokich cen ogrzewania. Ten proces jest zapewne dlatego tak powszechnie zauważany, ponieważ jest „namacalny" w postaci, trudnego do nie zauważenia, wzrostu wydatków na eksploatację. Zupełnie odmienny w skutkach jest niekontrolowany lub nadmierny ruch wilgoci przez przegrody. Odmienność ta polega głównie na tym, że jak wspominałem wcześniej, wilgoć nie jest zauważalna gołym okiem. Niekiedy widzimy zaplamienia, czujemy stęchliznę, jednakże nie jest to wilgoć, a jedynie szkodliwe skutki jej istnienia.

Jeżeli dopuścimy się błędów przy projektowaniu czy wykonywaniu docieplen, doprowadzimy tym samym do wzrostu wilgotności materiałów przegród. Wzrost ten może być nieznaczny (bez widocznych gołym okiem skutków) lub znaczny (z obserwowaną destrukcją warstw przegrody). Te szkodliwości zawilgoceń, które są widoczne

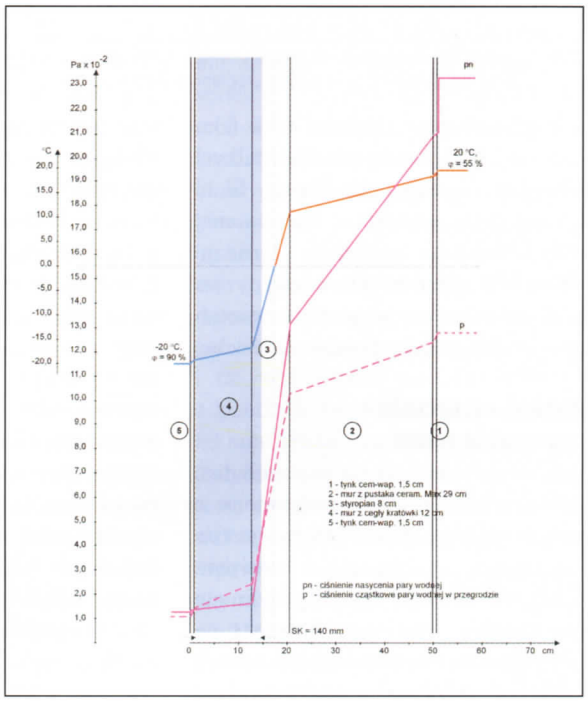
już po kilku latach eksploatacji budynku, łatwo ukierunkowują myślenie zarówno projektantów, jak też inwestorów w stronę eliminacji przyczyn tych zjawisk. Najtrudniejsze do uchwycenia czy przekonania do zasad prawidłowego doboru ocieplań są jednak zawilgocenia tzw. nieznaczne, których skutków nigdy nie będzie widać gołym okiem. Bezpośrednim jednak skutkiem wzrostu zawilgoceń materiału w przegrodach jest zwiększanie się wartości współczynników przewodzenia ciepła ponad wartości przyjmowane do obliczeń podczas tworzenia projektu. Spójrzmy na rysunek 1., gdzie przedstawione są uzależnienia wartości tych współczynników niektórych materiałów budowlanych w zależności od ich wilgotności objętościowej. Przyjmijmy, że z jakichś względów wystąpi wzrost wilgotności materiałów z 5 do np. 15%. Łatwo zauważyć, że na skutek tej zmiany wystąpi zawsze wzrost współczynników przewodności cieplnej, który wyniesie:

150% w betonie komórkowym 300 i 400,
200% w betonie komórkowym 500 i 600,
80% w cegle ceramicznej pełnej 1100,
65% w cegle ceramicznej pełnej 1700,
75% w cegle ceramicznej pełnej 1800,
45% w cegle klinkierowej 2200.

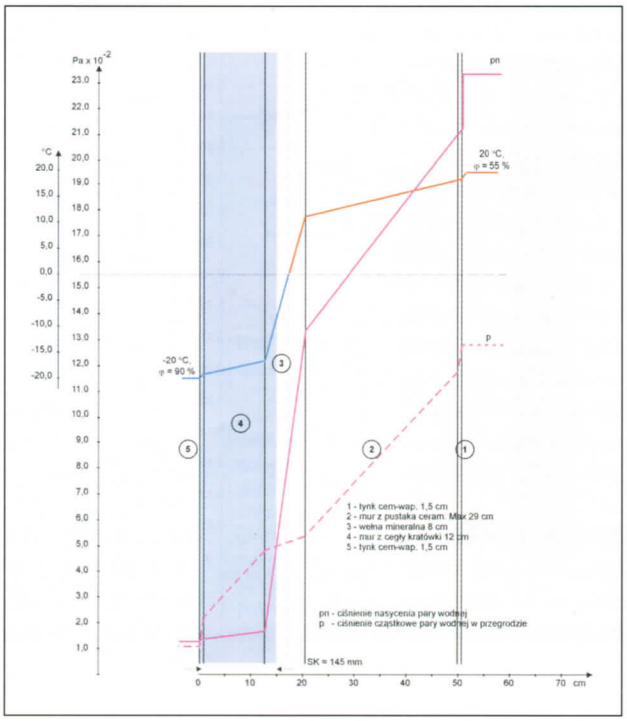
Tak wielkie wzrosty współczynników przewodności cieplnej spowodują dla różnych konstrukcji przegród konsekwentny wzrost współczynników przenikania ciepła U, wynoszący od 30 do nawet 120%. Oznacza to też taki sam wzrost ilości ciepła przenikającego i taki sam wzrost kosztów ogrzewania. Jakże często spotykamy dalsze konsekwencje tego zjawiska: nagminne niedogrzewanie pomieszczeń i szukanie „lepszych" grzejników czy wymianę kotła na większy itd. Tutaj muszę zaznaczyć, że jeżeli wykonawca nie popełnił błędów przy budowaniu, to właśnie projektant winien jest takiego stanu, mimo że spełnił on wymagania normy cieplnej pod względem dopuszczalnego współczynnika przenikania ciepła dla tej przegrody. Muszę też zaznaczyć, że w prawidłowo zaprojektowanej pod względem cieplno-wilgotnościowym przegrodzie, mimo występowania dyfuzji pary wodnej, nie wystąpi omawiane zjawisko wzrostu wilgotności materiałów. Wówczas rzeczywiste potrzeby cieplne budynku będą odpowiadać tym obliczeniowym. Jak wskazuje doświadczenie, w praktyce boimy się bardziej tej wilgoci, której wzrost określa-



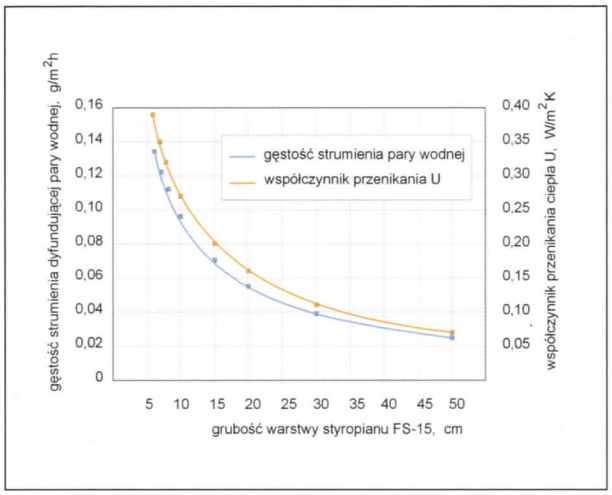
Rys. 1. Zależność współczynnika przewodności cieplnej niektórych materiałów budowlanych od ich wilgotności.



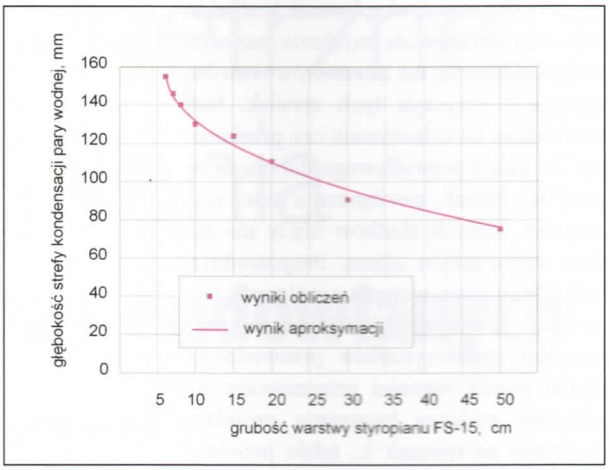
Rys. 2. Analiza cieplno-wilgotnościowa ściany warstwowej ocieplonej wewnątrz styropianem grub. 8 cm.



Rys. 3. Analiza cieplno-wilgotnościowa ściany warstwowej ocieplonej wewnątrz wełną mineralną grub. 8 cm.



Rys. 4. Zależność współczynnika ciepła U oraz strumienia dyfundującej pary wodnej od grubości ocieplenia styropianem wewnątrz muru.

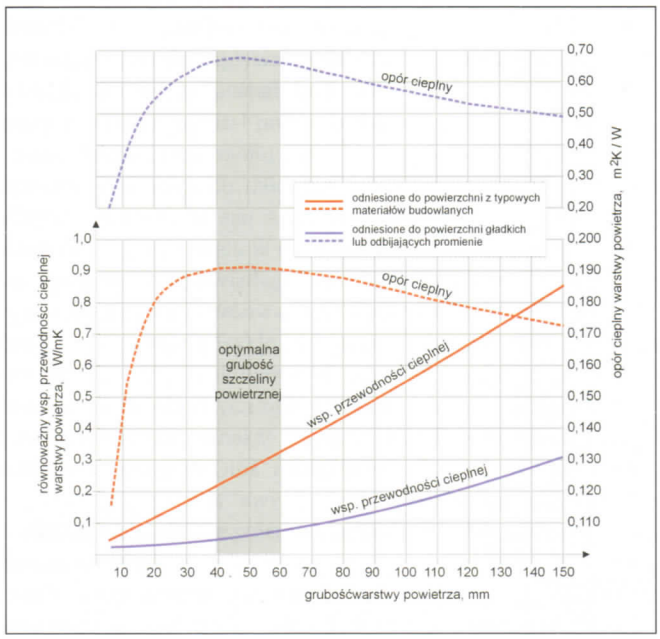


Rys. 5. Zależność głębokości strefy kondensacji pary wodnej w murze warstwowym (pustak Max 29, cegła kratówka 12, obustronny tynk) od grubości ocieplenia styropianem FS-15 wewnątrz muru.

my jako znaczny. Wynika to z faktu ogromnych i niestety nieodwracalnych zniszczeń wywołanych korozją biologiczną, czyli gniciem i w konsekwencji zagrzybieniem budynku. Znaczny wzrost wilgotności powodowany jest wykraplaniem się wilgoci we wnętrzu przegród (pomijając zjawiska zacieków).

Skutki ocieplania wewnątrz muru

Jak już niejednokrotnie wspominałem, w kraju bardzo rozpowszechnione są wśród projektantów przegrody tzw. warstwowe z ociepleniem wewnątrz muru. Rozpatrzmy zjawiska ruchu ciepła i wilgoci przez przykładowy typowy mur warstwowy o składzie (od wewnątrz): tynk cem. -wap. 15 mm, pustak ceramiczny Max 29 cm, styropian FS-15 grubości 8 cm, cegła kratówka 12 cm, tynk cem. –wap. 15 mm. Taki mur w warunkach obliczeniowych uzyskuje współczynnik przenikania ciepła U = 0,321 W/m²K, co daje jednostkową stratę ciepła z jednego metra kwadratowego w wysokości 12,84 W. Wydawać by się mogło, że mur o tak dobrych własnościach cieplnych (spełniający wymagania normy o ochronie cieplnej budynków) można zastosować przy projektowaniu budynku. W każdym razie tak postąpi ten projektant, który świadomie lub nie, pominie zjawisko ruchu wilgoci przez taką przegrodę. Otóż w wyniku obliczeń dla tego muru uzyskuje się opór dyfuzji pary wodnej wynoszący 10470,0 m²hPa/g. Przy założeniu temperatury powietrza wewnętrznego +20°C i wilgotności względnej 55% oraz temperatury powietrza zewnętrznego –20°C i wilgotności względnej 90%, gęstość strumienia dyfundującej pary wodnej wyniesie 0,112 g/m²h. Uzyskany wykres temperatur w przegrodzie oraz rozkład ciśnień cząstkowych pary wodnej w stosunku do linii ciśnień pary w stanie nasycenia przedstawia rysunek 2. Widać, że począwszy od powierzchni styku tynku zewnętrznego z murem aż do 1/4 grubości ocieplenia, niestety, wystąpi wykraplanie się pary wodnej, a strefa kondensacji wyniesie aż 140 mm. Przy tworzeniu takiej analizy, a także podczas codziennej praktyki budowlanej, zastanawiamy się często, czy nie będzie bardziej właściwe zastosowanie jako ocieplenia np. wełny mineralnej zamiast styropianu przy tej samej grubości. Zamieńmy zatem ocieplenie styropianem na wełnę mineralną o współczynniku przewodności cieplnej 0,036 W/mK. Po odpowiednich obliczeniach otrzymujemy wartość współczynnika przenikania ciepła w tych samych warunkach obliczeniowych U = 0,320 W/m²K, co daje jednostkową stratę ciepła z jednego metra kwadratowego przegrody wynoszącą 12,784 W. Porównując do wersji ze styropianem, uzyskujemy niemal identyczne własności cieplne. Inna jest jednak charakterystyka wilgotnościowa przegrody w wersji z wełną mineralną. Przy tych samych warunkach powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, gęstość strumienia dyfundującej pary wodnej

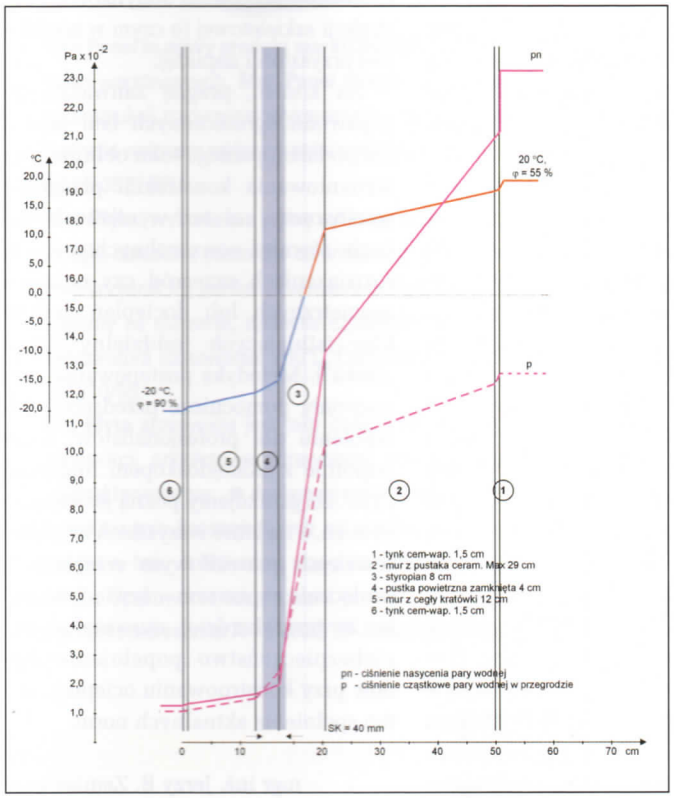


Rys. 6. Zależność równoważnego współczynnika przewodności cieplnej warstwy powietrza oraz oporu cieplnego od jej grubości.

wynosi 0,329 g/m²h – jest to niemal 3-krotnie większa wartość niż w wersji ze styropianem. Oznacza to, że taka przegroda jest w stanie przepuścić przez siebie trzy razy więcej wilgoci. Konsekwencją takiego stanu jest zupełnie inny rozkład ciśnień cząstkowych pary wodnej w przegrodzie, przy takim samym jednak przebiegu temperatur w poszczególnych jej warstwach. Grafikę obliczeń dla ostatniego wariantu przedstawia rysunek 3. Pomimo innego rozkładu ciśnień pary wodnej i w tym przypadku mamy do czynienia z występowaniem wykraplania się wilgoci. Strefa kondensacji wynosi 145 mm i rozpoczyna się tuż pod zewnętrzną płaszczyzną tynku, sięgając także do ok. 1/4 grubości ocieplenia. Porównując oba przypadki, zwróćmy uwagę na różną stabilność występujących stref kondensacji. W przypadku ocieplenia styropianem, mamy do czynienia z mało stabilną strefą, bowiem linie ciśnień cząstkowych pary wodnej przecinają się pod małym kątem w strefie ocieplenia. W przypadku ocieplenia wełną, linie te przecinają się pod dużym kątem, co stwarza stabilną strefę początku kondensacji.

Dzieje się tak dlatego, że warstwa cegły kratówki stawia opór dyfuzji pary niemal dziewięć razy mniejszy niż warstwa styropianu, natomiast w stosunku do warstwy wełny niemal pięć razy większy! W tym miejscu pragnę zauważyć, że chociaż oba warianty w omawianych warunkach wewnętrznych i zewnętrznych nie nadają się bezpośrednio do zastosowania w praktyce, to w przypadku styropianu (wg omawianego układu warstw przegrody) łatwiej można byłoby znaleźć materiał o dużym współczynniku paroprzewodności zastępujący cegłę kratówkę, aby uniknąć wykraplania się wilgoci, bądź zmniejszyć strefę skraplania do minimum.

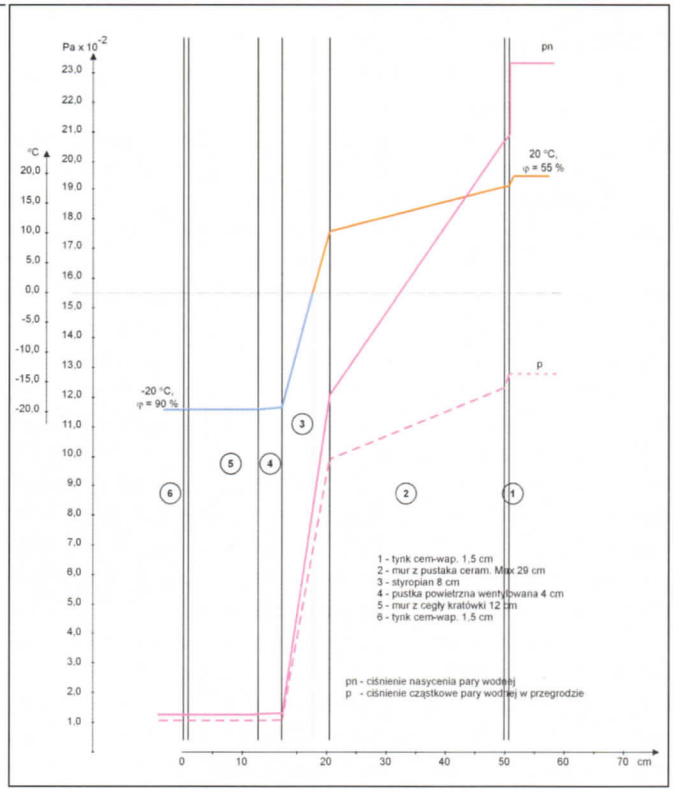
Wróćmy jednak do naszej analizy. Częstym dążeniem w praktyce projektowej (wywołanym chęcią uniknięcia skraplania się pary w przegrodzie przy jednoczesnym zmniejszaniu jej strat ciepła) jest zwiększanie grubości ocieplenia wewnątrz przegrody. Jeszcze kilka lat temu zadowalano się ocieplaniem wewnątrz styropianem grubości 5-6 cm, obecnie zaś obserwuję niemal powszechne stosowanie grubości 8-10 cm i więcej. Przeanalizujmy ten trend. Zakładając coraz to grubsze warstwy styropianu, otrzymujemy nowe wartości charakterystyk cieplno-wilgotnościowych. Obraz graficzny uzyskanych współczynników przenikania ciepła U przedstawia rysunek 4. (krzywa pomarańczowa). Widać, że przy grubości styropianu wynoszącej 10 cm uzyskuje się wartość tego współczynnika na poziomie 0,27 W/m²K, przy grubości aż 20 cm otrzymujemy wielkość U ok. 0,16 W/m²K. Na tym samym rysunku niebieska krzywa przedstawia przebieg zmian gęstości strumienia dyfundującej pary wodnej w zależności od wzrostu grubości ocieplenia. Pomimo wyraźnego spadku natężenia tego strumienia, nie spada on do zera, a przy grubości styropianu wynoszącej nawet 30 cm, wynosi on 0,04 g/m²h. Zmianom tym odpowiada także głębokość strefy kondensacji pary wodnej wewnątrz muru, której charakter przedstawia rysunek 5. Zauważmy, że zwiększanie grubości ocieplenia zmniejsza głębokość strefy kondensacji, lecz nie na tyle, aby się jej pozbyć! Zwiększenie ocieplenia do 20 cm daje spadek głębokości tej strefy, ale wynosi ona aż 115 mm, nawet gdybyśmy się zdecydowali na desperacki krok zastosowania grubości ocieplenia wynoszącej aż 50 cm, to i tak wykraplanie się pary wystąpi, a głębokość tej strefy wyniesie prawie 80 mm. Widać zatem, że w przypadku decydowania się na mur warstwowy z ociepleniem wewnątrz, nie wyeliminujemy procesu wykraplania poprzez zwiększanie grubości ocieplenia. Pragnę zauważyć, że krzywa pomarańczowa na rysunku 4. odnosi się do tzw. obliczeniowych wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów przegrody. W rzeczywistości, podczas procesu wykraplania się wilgoci, w warstwie leżącej tuż za ociepleniem (i w niej samej), nastąpi gwałtowny wzrost wartości współczynnika przewodności cieplnej na zasadach przedstawionych na rysunku 1. Spowoduje to zmniejszenie się wielkości współczynnika przenikania ciepła, a zatem wyraźne zmniejszenie się wpływu dodatkowej grubości ocieplenia na straty ciepła budynku. Tłumaczy to znane niektórym zdumienie tak mało zauważalnymi oszczędnościami na paliwie w ciągu zimy, mimo większej grubości ocieplenia w ścianach niż np. u sąsiada.



Rys. 7. Analiza cieplno-wilgotnościowa ściany warstwowej ocieplonej wewnątrz styropianem grub. 8 cm z zamkniętą pustką powietrzną grub. 4 cm.

Szczeliny powietrzne w murach

Skoro już wiemy, że od wykraplania się wilgoci nie można uciec drogą zwiększania ocieplenia w przegrodach



Rys. 8. Analiza cieplno-wilgotnościowa ściany warstwowej ocieplonej wewnątrz styropianem grub. 8 cm z wentylowaną pustką powietrzną 4 cm.

warstwowych, a nie chcemy zrezygnować z muru warstwowego, paść musi pytanie o sposób zapobiegania temu zjawisku. Wielokrotnie już pisałem, że prawidłowym sposobem jest zastosowanie tuż za ociepleniem szczeliny powietrznej na całej długości ocieplenia. Często ze strony projektantów, inwestorów pada pytanie o szerokość tej szczeliny. Myśląc o zastosowaniu szczeliny, musimy wiedzieć z kolei o zjawiskach, które tam zachodzą. Otóż, w szczelinie powietrznej zachodzi skomplikowana wymiana ciepła pomiędzy powierzchniami ją otaczającymi, samym ociepleniem oraz murem osłonowym. Wymiana ta odbywa się przez: przewodzenie, konwekcję oraz promieniowanie. Te trzy procesy zachodzą jednocześnie. To właśnie powoduje niemożność bezpośredniego otrzymania prostych do celów projektowych zależności. Dlatego wprowadzono pojęcie równoważnego współczynnika przewodności cieplnej dla szczeliny, którego przebieg przedstawiają ciągłe linie na rysunku 6. W związku z tym, że do celów ocieplenowych, interesuje nas takie skonstruowanie tej szczeliny, aby jej opór cieplny był jak największy, istotny jest jego przebieg w zależności od grubości szczeliny. Zależność tę przedstawiają krzywe przerywane na tym samym rysunku. Widać wyraźnie, że największe opory cieplne uzyskujemy przy grubościach 40-60 mm. Daje się to tłumaczyć tym, że przy grubościach mniejszych występuje zbyt duży wpływ przewodzenia ciepła, a przy większych zbyt duży wpływ konwekcji. Stąd stosując nieodpowiednie grubości szczelin, możemy zamiast zmniejszyć straty ciepła, niechcący je zwiększyć. Skoro już wiemy ile powinna wynosić grubość szczeliny w naszym analizowanym przypadku, zastosujmy zatem szczelinę 4 cm, leżącą tuż za ociepleniem styropianem grubości 8 cm. Przyjmijmy, że szczelina ta jest zamknięta ze wszystkich stron, czyli warstwa muru z cegły kratówki będzie jedynie odsunięta podczas wznoszenia muru i utrzymana na kotwach (przypadek powszechny w kraju). Grafikę obliczeń przedstawia rysunek 7. Zauważmy, że uzyskaliśmy wyraźne polepszenie efektów cieplno-wilgotnościowych, ponieważ głębokość strefy kondensacji spadła ze 140 mm do 40 mm przy U = 0,303 W/m²K (widać izolacyjny wpływ szczeliny powietrznej). Tak ułożona strefa kondensacji pary wodnej powodować będzie spływ wody wzdłuż powierzchni ocieplenia do dolnych partii muru na każdej kondygnacji zamkniętej wieńcami stropowymi. Widać, że jedynym narzucającym się rozwiązaniem będzie wykonanie tej szczeliny jako wentylowanej. Wyniki odpowiednich dla tego przypadku obliczeń przedstawia rysunek 8. Mamy wreszcie rozwiązanie ze wszech miar prawidłowe: brak strefy wykraplania się wilgoci przy niezłym współczynniku przenikania ciepła U = 0,346 W/m²K. Chcąc uzyskać niższą wartość tego współczynnika, powinno się zwiększyć grubość ocieplenia do 10 cm – niezależnie od tego, czy będzie to styropian, czy wełna.

Taką przykładową analizą cieplno-wilgotnościową projektowanej przegrody, nie pragnę odwieść Czytelników od stosowania przegród warstwowych, lecz zasygnalizować potrzebę rzetelnego podejścia projektantów do wyboru przegród podczas tworzenia dokumentacji projektowej. Przy wyborze warunków powietrza wewnętrznego założyłem tzw. średnie warunki w mieszkaniu, a także strefę zewnętrzną – 20°C. Inne nieco będą wnioski przy analizie powietrza w łazienkach, pralniach czy basenach, a inne w innych strefach klimatycznych. Jeszcze innych „rewelacji" należy się spodziewać w przypadku budynków o konstrukcji szkieletowej (o czym w niedalekiej przyszłości napiszę).

Na koniec, pragnę zauważyć, że z powodu ograniczonych łam pisma, nie podałem pełnego toku obliczeń czy wariantowania konstrukcji przegrody warstwowej, ani też wyników w innych, również powszechnych w kraju, rozwiązaniach przegród czy ocieplań zewnętrznych lub dociepleń budynków istniejących (oddzielny temat „rzeka"). Metodykę postępowania oraz materiały pomocnicze przedstawię na szkoleniu dla profesjonalistów, które wspólnie z „Kalejdoskopem Budowlanym" zorganizujemy późną jesienią tego roku, a na które wszystkich zainteresowanych prawidłowym ocieplaniem serdecznie zapraszam – żywiąc nadzieję, że teraz bardziej zauważalne jest niebezpieczeństwo popełniania błędów przy konstruowaniu ocieplań, mimo spełnienia aktualnych norm.

mgr inż. Jerzy B. Zembrowski