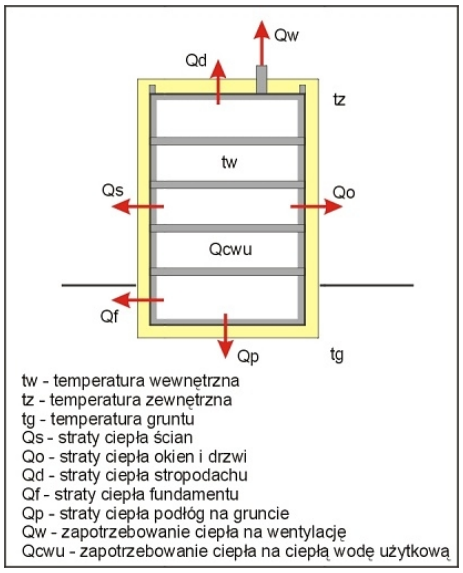
# Ocieplenia stropodachów niewentylowanych w budynkach energooszczędnych

Świat budownictwa w Polsce staje przed nowym podejściem do projektowania, wznoszenia i użytkowania obiektów. Dyrektywa EPBD (the Energy Performance of Buildings Directive) 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej z 16 grudnia 2002 r. wprowadziła konieczność uzyskiwania certyfikatów energetycznych budynków od 1 stycznia 2009 r. Już obowiązuje dyrektywa 93/76/EWG dotycząca ograniczenia emisji $CO_2$ oraz obowiązku certyfikacji budynków w tym zakresie. Najnowsza dyrektywa 2006/32/WE nakazuje uzyskanie 9 % oszczędności zużycia energii w latach 2008 - 2016. Dyrektywy te nie są wynikiem mody, lecz wynikają z dwóch ważnych aspektów współczesnego świata: powstrzymania efektu cieplarnianego wokół naszej planety oraz oszczędności zużycia energii z powodu wyraźnie kurczących się zasobów energetycznych Ziemi. Pierwszy aspekt dotyczy ochrony środowiska naturalnego, zaś drugi ratowania nas wszystkich przed wysokimi kosztami utrzymania obiektów, bowiem ceny energii rosną i będą nadal rosły.

W dotychczasowej praktyce projektowej stosuje się zbyt wiele uproszczeń w zakresie ochrony cieplnej budynków. Przykładowo, grubość warstw termoizolacyjnych określa się zaledwie według granicznych wartości współczynników przenikania ciepła *U* wynikających z wytycznych, zaś zagadnienia dyfuzji pary wodnej niemal się pomija. W rezultacie, powstawały i powstają obiekty bez jasno określanych charakterystyk cieplnych oraz z losowym wręcz stanem wilgotnościowym przegród tracących ciepło. Wielkimi krokami zbliża się czas wznoszenia wyłącznie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię, co wymusza przestawienie się projektantów na nową metodykę projektowania. Będzie także mocno ograniczona, a znana dotąd swoboda wykonawców i inwestorów w wyborze technologii i materiałów. Nową i wręcz bogatszą formę przyjmą projekty wykonawcze, bowiem dany obiekt żeby uzyskać charakterystykę energetyczną zgodną z założeniami i obliczeniami, będzie musiał być zbudowany zgodnie z materiałami przewidzianymi w projekcie i rysunkach detali tam zawartych. Przed oddaniem budynku do eksploatacji, ekspert wykona stosowne obliczenia i określi charakterystykę energetyczną obiektu. Inwestor będzie wiedział jakiej klasy obiekt stworzył bądź kupił.

## Nowa metodyka projektowania

Często słyszy się, iż domy energooszczędne to takie, w których wystarczy zastosować po 25-30 cm ocieplenia w ścianach, podłogach i dachu. Nic bardziej błędnego. Projektowanie domów energooszczędnych, to szeroka współpraca architekta ze specjalistą fizyki budowli, bowiem wymagane jest wspieranie się szeregiem analiz z tego zakresu. Podstawową, jest analiza określająca ekonomicznie uzasadnione wartości współczynników przenikania ciepła *U* poszczególnych przegród budynku. Analizę taką wykonuje się po sporządzeniu wstępnego projektu architektonicznego oraz po uzgodnieniu z inwestorem oczekiwanej przez niego klasy energetycznej obiektu.




**Rysunek 1**
**Ideowy schemat budynku energooszczędnego.**

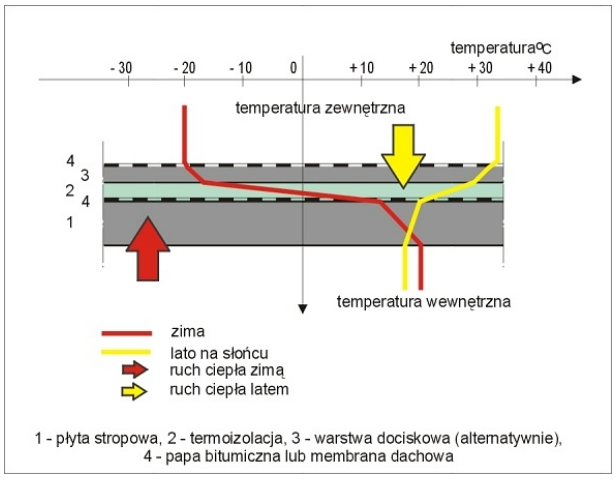
Model budynku energooszczędnego i jego zapotrzebowanie na energię cieplną przedstawia rys. 1. Podstawowym celem jest minimalizacja sumarycznego zapotrzebowania ciepła, tj. znalezienie minimum sumy *Qs + Qo + Qd + Qf + Qp + Qw + Qcwu*. Człon *Qw* oraz *Qcwu* (notabene mający największy udział w bilansie energetycznym domów energooszczędnych) wymaga oddzielnego omówienia. Po ostatecznym zbilansowaniu zapotrzebowania ciepła do budynku, określa się poziom odniesienia. Jest nim przegroda o największym udziale w stratach cieplnych, dla której oblicza się ekonomicznie uzasadnioną wartość wsp. przenikania ciepła *Ue* oraz wynikającą stąd grubość i rodzaj warstwy termoizolacyjnej. Zwykle przegrodą odniesienia są ściany zewnętrzne lub stropodach i ich straty ciepła przez przenikanie *Qs* lub *Qd*. Potem przystępuje się do analizy cieplno-wilgotnościowej tych przegród w aspekcie uniknięcia kondensacji pary wodnej lub jej minimalizacji i wykluczenia przez to korozji biologicznej oraz zawilgoceń termoizolacji. Następnie ustala się konkretne rozwiązania materiałowe i dopiero teraz przystępuje się do fazy właściwego projektu budowlanego i wykonawczego.

## Układy stropodachów niewentylowanych

W budownictwie stosuje się dwa rodzaje stropodachów niewentylowanych:

- w układzie klasycznym (termoizolacja po stronie suchej),
- w układzie tzw. odwróconym (termoizolacja po stronie mokrej).

Każdy z nich posiada swoje wady i zalety. Cechą charakterystyczną stropodachu w układzie klasycznym jest lokowanie warstwy termoizolacyjnej pomiędzy paroizolacją leżącą na stropie, a hydroizolacją przykrywającą stropodach (rys. 2). W ten sposób dąży się do uniezależnienia otoczenia termoizolacji od warunków wewnętrznych i zewnętrznych. Biorąc pod uwagę fakt, iż zarówno warstwa paroizolacyjna, jak też hydroizolacyjna mają nie przepuszczać wilgoci zakłada się, że warstwa termoizolacji będzie eksploatowana w warunkach powietrzno-suchych.




**Rysunek 2**
**Rozkład temperatur latem i zimą w warstwach stropodachu w układzie klasycznym.**

Założenie to jest niewątpliwie zaletą tego układu, ale przy spełnieniu dwóch warunków:

1. Podczas prac dachowych termoizolacja nie zostanie zamoczona.
2. Podczas eksploatacji obiektu nie dojdzie do kondensacji pary wodnej pomiędzy paroizolacją, a hydroizolacją.

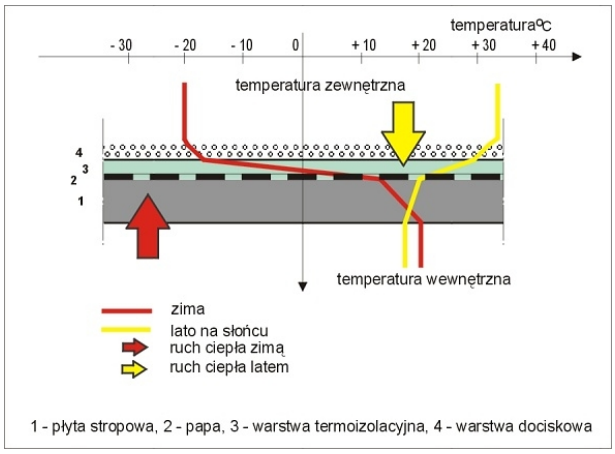
Warunek pierwszy wymusza od wykonawcy zachowanie szczególnej staranności podczas prac dachowych, bowiem niewłaściwe przechowywanie termoizolacji lub dopuszczenie do zamoczenia jej opadami atmosferycznymi, zniweczy wszystkie analizy i obliczenia charakterystyki energetycznej obiektu. Uwięziona wilgoć w warstwie termoizolacyjnej będzie latem zamieniać się ze stanu ciekłego w parę wodną, zaś zimą będzie kondensować - i tak niezmiennie co sezon. Niezależnie od stanu fizycznego wilgoci, warstwa termoizolacyjna w rzeczywistości będzie posiadać znacznie większy wsp. przewodności cieplnej niż podaje się w kartach technicznych wyrobów i przyjmuje do obliczeń. W rezultacie, na najwyższej kondygnacji powstaną zawyżone straty ciepła i

efektem będzie albo niemożliwość zapewnienia wymaganych temperatur powietrza wewnętrznego, albo je się uzyska, ale kosztem użytkownika, gdyż wzrosną jego wydatki na cele grzewcze. Warunek drugi wymusza od projektanta dobranie konkretnych rozwiązań materiałowych eliminujących kondensację pary wodnej w warstwie termoizolacyjnej. Jeśli nie będzie to możliwe, to należy dołożyć wszelkich starań, aby kondensacja była jak najmniejsza, a w żadnym wypadku nie można dopuścić, by jej bilans roczny był dodatni.

W przypadku powstania zawilgocenia termoizolacji ponad wilgotność sorpcyjną, wystąpi nie tylko wzrost przewodności cieplnej (utrata zdolności izolacyjnych), ale także zagrożenie powstania korozji biologicznej zarówno samej warstwy termoizolacyjnej, jak i warstw ją otaczających.

Na uwagę zasługuje też fakt, iż w układzie klasycznym stropodachu mamy do czynienia z największą amplitudą zmian temperatury występującej na warstwie hydroizolacyjnej: od 20 i więcej stopni Celsjusza poniżej zera zimą do ponad 30 stopni Celsjusza powyżej zera latem w cieniu, a na stronie wystawionej na słońce, nawet sięgającej 80 stopni. Tak duże zmiany temperatury hydroizolacji wymuszają od projektanta dużej staranności w doborze materiałów oraz opracowaniu detali rozwiązań dylatacji hydroizolacji.

Cechą charakterystyczną stropodachu w układzie odwróconym jest lokalizacja warstwy hydroizolacyjnej bezpośrednio na stropie (rys. 3). Siłą rzeczy warstwa termoizolacji znajduje się po stronie mokrej. Jest to niewątpliwie wadą tego rozwiązania i wymusza od termoizolacji możliwie najmniejszego uzależnienia przewodności cieplnej od jej wilgotności. Z tego wynika konieczność stosowania materiałów termoizolacyjnych o jak najmniejszej nasiąkliwości.




**Rysunek 3**
**Rozkład temperatur latem i zimą w warstwach stropodachu w układzie odwróconym.**

W tym rozwiązaniu warstwa hydroizolacji podlega znacznie mniejszym wahaniom temperatury, ale wobec dłuższego jej kontaktu z wodą i mikroorganizmami zalegającymi pod termoizolacją, hydroizolacja musi cechować się podwyższoną odpornością na korozję biologiczną. Warstwa zaś termoizolacji, podlega tym razem znacznie większym ruchom termicznym niż w rozwiązaniu poprzednim.

Generalnie można stwierdzić, że w każdym z omawianych układów stropodachu, poszczególne ich warstwy będą uzyskiwać różne wartości zmian wymiarów liniowych - na skutek ruchów termicznych, co musi być ujęte w projekcie w postaci rozwiązań detali dylatacji każdej warstwy. Przykładowo, papa bitumiczna lub membrana dachowa PCV mając wsp. rozszerzalności termicznej ok. 0,16 mm/mK przy wzroście temperatury o 40 K na długości 100 m rozszerzy się aż o 640 mm. Styropian mając wsp. rozszerzalności termicznej ok. 0,07 mm/mK w tych samych warunkach rozszerzy się o 280 mm, zaś beton o 50 mm.

## Dobór materiału termoizolacji

Materiał stosowany do ociepleń stropodachów niewentylowanych musi charakteryzować się znacznie większymi wymogami, niż termoizolacja innych przegród budowlanych. Te wymagania, to:

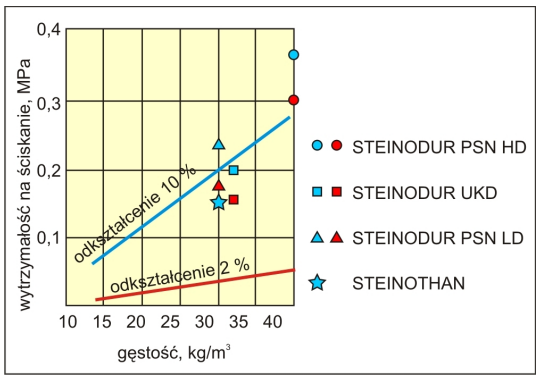
- niska wartość wsp. przewodzenia ciepła $\lambda$,
- możliwie najmniejsza zależność przewodności cieplnej od wilgotności,
- możliwie najmniejsza nasiąkliwość,
- wysoka wytrzymałość na ściskanie,
- wysoka odporność na procesy biologiczne,
- niepalność.

Potrzeba jak najniższej przewodności cieplnej termoizolacji wynika z chęci uzyskania możliwie najmniejszej grubości tej warstwy, co nie tylko obniża koszty inwestycyjne, ale także mniej komplikuje rozwiązania konstrukcyjne stropodachu. Dobre materiały termoizolacyjne mają wsp. przewodności cieplnej $\lambda$ poniżej 0,04 W/mK. Jak największe uniezależnienie się przewodności cieplnej od wilgotności termoizolacji wynika z uzyskiwania w eksploatacji budynków strat ciepła przez przenikanie zgodnych z obliczeniowymi. Taki komfort zapewniają wyłącznie materiały, które są nienasiąkliwe.

Wysoka wytrzymałość na ściskanie termoizolacji wynika z konieczności stosowania jeśli nie łączników dociskających termoizolację do podłoża, to warstw ją dociskających. Wielkość docisku jest tym większa, im wyżej nad poziomem terenu stropodach jest wyniesiony, bowiem podstawowym działaniem jest wiatr, a konkretniej siły ssące nim powodowane. Siła ssania wywołana przez wiatru osiąga wartość nawet 170 kG/m$^2$ na wysokości 55 m nad poziomem terenu. Innym obciążeniem ściskającym termoizolację jest ciężar warstwy dociskowej - wynoszący nawet do 300 kG/m$^2$ oraz zalegający zimą śnieg.

Odporność termoizolacji na procesy biologiczne jest szczególnie ważna w przypadku stropodachów w układzie odwróconym lub dachów zielonych. W tych przypadkach mamy do czynienia z długim czasem zalegania sączącej się wody w kierunku odpływów z dachu. Są to wody opadowe przepłukujące warstwę balastową lub substraty zieleni, a więc zawierające ogromne ilości mikroorganizmów i związków mineralnych. Korozja biologiczna niszczy własności termoizolacyjne i rozszerza się na sąsiadujące warstwy: hydroizolacji, paroizolacji lub podłoża.

Niepalność a przynajmniej nierozprzestrzenianie ognia i brak toksyczności na wypadek pożaru, wynika z potrzeby ochrony pożarowej budynków. Materiałami spełniającymi wymienione wymagania są niewątpliwie styropiany grupy STEINODUR produkowane przez IZOTERM, których współczynnik przewodzenia ciepła wynosi ok. 0,035 W/mK i mniej, zaś nasiąkliwość wodą zaledwie 0,3 %. Na uwagę zasługują wysokie parametry wytrzymałości na ściskanie, które przy odkształceniu 2 % uzyskują wytrzymałość na naciski taką, jak inne materiały na rynku przy odkształceniu 10 % (rys. 4). Na uwagę zasługuje też fakt dość niskiej wartości współczynnika oporu dyfuzyjnego $\mu$ wynoszącego ok. 60, co znakomicie ułatwia dyfuzję parze wodnej przez stropodach do atmosfery.




**Rysunek 4**
**Wytrzymałość na ściskanie produktów firmy IZOTERM na tle produktów na rynku.**

## Rola paroizolacji w układzie klasycznym

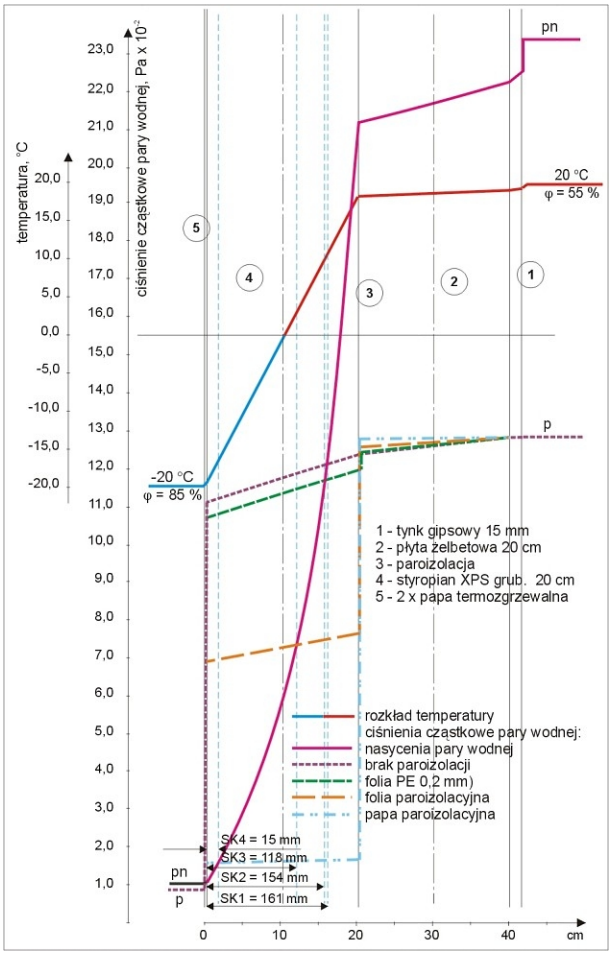
Paroizolacja leżąca bezpośrednio na stropie ma za zadanie jeśli nie wyeliminować, to maksymalnie zmniejszyć przenikanie pary wodnej z pomieszczeń leżących pod stropodachem do warstwy termoizolacyjnej. Wynika to z potrzeby wyeliminowania lub

zmniejszenia kondensacji pary wodnej w izolacji. W praktyce spotyka się masę odstępstw od tego działania - spowodowanych szukaniem oszczędności na kosztach inwestycyjnych. Taka beztroska wynika z faktu, iż nikt nie sprawdza podczas eksploatacji czy charakterystyka cieplna stropodachu spełnia parametry projektowane. Z chwilą, gdy cytowane na wstępie przepisy wejdą w życie, użytkownik lub nabywca lokalu lub całego budynku będzie miał prawo żądać albo przywrócenia projektowanych parametrów cieplnych, albo rekompensaty w kosztach eksploatacji. Certyfikat energetyczny, to nie będzie tylko kawałek papieru! To będzie podstawowy dokument wartości obiektu.

Przyjrzyjmy się na konkretnym przykładzie stropodachu w Warszawie. Na stropie żelbetowym grubości 20 cm układamy termoizolację z STEINODUR PSN LD grubości 20 cm i warstwę hydroizolacji np. samoprzylepną papę bitumiczną. Jeśli nie zastosuje się paroizolacji na stropie (wcale nie rzadki przypadek), uzyskuje się następujące parametry w warunkach stacjonarnych:

- wsp. przenikania ciepła U = 0,16 W/m$^2$K
- gęstość przenikającego strumienia cieplnego q = 6,477 W/m$^2$
- gęstość strumienia dyfuzji pary wodnej qv = 0,0067 g/m$^2$h
- sumaryczny opór dyfuzyjny stropodachu Rv = 179 256 m$^2$hPa/g

Rozkład temperatur oraz ciśnień cząstkowych pary wodnej w stropodachu przedstawia rys. 5, na którym widać negatywne skutki pominięcia paroizolacji, bowiem w niemal całej grubości termoizolacji powstaje strefa kondensacji pary wodnej SK1 = 161 mm. Taki stan jest niedopuszczalny.



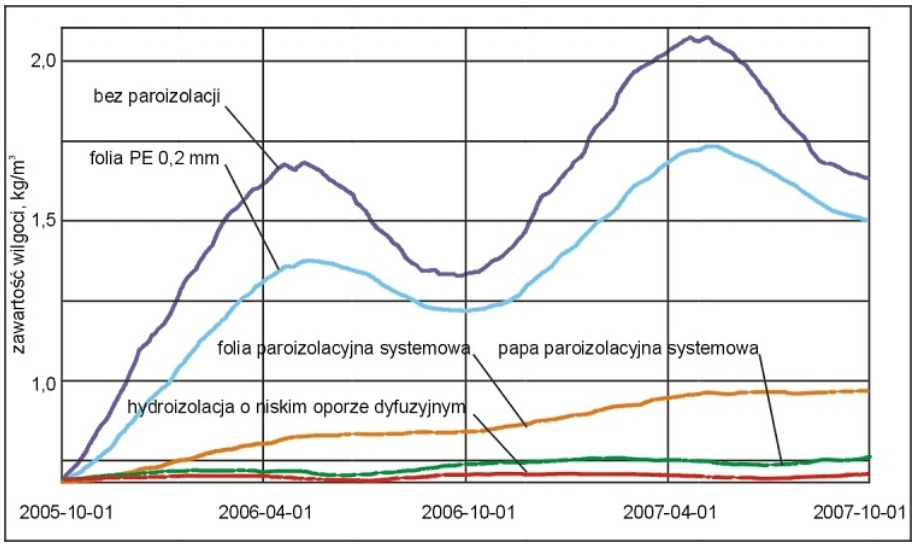

**Rys. 5**
**Rozkład temperatur i ciśnień cząstkowych pary wodnej w stropodachu w warunkach stacjonarnych.**

Rozważmy inny przypadek - niezwykle często spotykany w krajowych projektach, a mianowicie zastosowanie folii PE grub. 0,2 mm jako paroizolacji. W tym przypadku gęstość strumienia dyfuzji pary wodnej wynosi qv = 0,0064 g/m$^2$h (mniejsza zaledwie o 4,5 %), zaś strefa kondensacji SK2 = 154 mm (zmalała zaledwie o 7 mm). Wniosek stąd taki, że zwykła folia PE grubości 0,2 mm nie stanowi paroizolacji stropodachu, a jej stosowanie tworzy fikcję! Jeśli zastosuje się systemową folię paroizolacyjną, np. o oporze Sd = 80 m, uzyskuje się spadek gęstości strumienia dyfuzji pary wodnej do wartości qv = 0,0039 g/m$^2$h (mniejszy o 42 %), zaś strefę kondensacji SK3 = 118 mm (zmalała o 43 mm). Jest to znacząca poprawa, ale wynik nie satysfakcjonujący. Dopiero zastosowanie

systemowej papy bitumicznej paroizolacyjnej z wkładką aluminiową, np. o oporze Sd = 1500 m, pozwala uzyskać spadek gęstości strumienia dyfuzji pary wodnej do wartości qv = 0,00046 g/m$^2$h (mniejszy o 93 %), zaś strefę kondensacji SK4 = 15 mm (zmalała aż o 146 mm). Jest to rozwiązanie wręcz odmienne od poprzednich.

Wnioski z analizy pracy stropodachu w cieplno-wilgotnościowych warunkach stacjonarnych są podstawą jedynie do wstępnego doboru materiałów poszczególnych warstw. Ostateczne rozwiązania określa się wyłącznie na podstawie symulacji zachowania się stropodachu w warunkach rzeczywistych - występujących w danej lokalizacji budynku. Na dzień dzisiejszy tego dokonać można korzystając z programu WUFI. Wyniki obliczeń tym narzędziem, mimo iż najbardziej wiarygodne i niezwykle ciekawe, są zbyt obszerne do przedstawienia tutaj.

Przebieg wilgotności warstwy termoizolacyjnej w stropodachu w omawianych czterech przypadkach na przestrzeni kolejnych 24 miesięcy, przedstawia rys. 6. Wniosek jest jednoznaczny, iż brak paroizolacji na stropie lub zastosowanie zwykłej folii PE wyklucza takie rozwiązania, gdyż ilość wilgoci zdolnej do odparowania latem jest znacznie mniejsza niż ilość kondensującej pary wodnej zimą i zachodzi niedopuszczalna kumulacja wilgoci w warstwie termoizolacyjnej. Nawet zastosowanie systemowej folii paroizolacyjnej (mimo, iż znacznie zmniejsza strumień dyfuzji pary wodnej) także prowadzi do kumulacji wilgoci w termoizolacji - w mniejszej ilości, ale także nie do przyjęcia. Dopiero zastosowanie systemowej papy bitumicznej z wkładką aluminiową daje wyniki pozytywne, które można przyjąć do rozwiązania projektowego, bowiem podczas eksploatacji tego stropodachu wzrost wilgotności termoizolacji będzie najmniejszy, chociaż z niewielką kumulacją.




**Rys. 6**
**Rzeczywista wilgotność warstwy styropianu w stropodachu w kolejnych dwóch latach z zastosowaniem różnych materiałów paroizolacyjnych.**

Żeby uzyskać wynik całkowicie zadowalający, tj. przewodność cieplną termoizolacji zgodną z obliczeniową służącą za podstawę do określania charakterystyki energetycznej budynku, więcej korzyści się już nie osiągnie poprzez zwiększanie oporu dyfuzji paroizolacji. Na tym stropodachu trzeba zastosować hydroizolację o możliwie najmniejszym oporze dyfuzji wobec pary wodnej. Pokazuje to najniższa krzywa pokazana kolorem czarnym. W tym przypadku nie tylko ilość kondensującej pary wodnej jest minimalna, ale uzyskuje się eliminację kumulacji wilgoci w termoizolacji. Stropodach będzie pracować jako rzeczywiście suchy.

## Wnioski

Na podanym przykładzie widać jasno, iż wkrótce do lamusa pójdą obecne style i zakresy projektów budowlanych i wykonawczych, gdzie nie precyzuje się parametrów technicznych i fizycznych dobieranych materiałów i technologii, podając jedynie

ogólnikowe i enigmatyczne zapisy - dające szerokie pole manewru wykonawcom i inwestorom. Jest to największa szkoda, jaką można wyrządzić nie tylko budynkom, ale przede wszystkim kieszeniom nabywców mieszkań lub domów. Wielkimi krokami zbliża się czas tworzenia projektów przemyślanych w każdym calu w zakresie fizyki budowli, gdzie będzie wystarczająca ilość rysunków detali potrzebnych wykonawcom oraz wskazanie jednoznaczne wymaganych własności fizycznych dobieranych materiałów i technologii budowlanych. Bez tego, każdy uczestnik procesu budowlanego będzie miał prawo dochodzić od projektanta pokrycia szkód, jeśli obiekt nie uzyska zakładanej do projektowania charakterystyki energetycznej. Certyfikat energetyczny po wybudowaniu obiektu wskaże na ile solidnie został ona zaprojektowany i wybudowany. Oczywiście wzrosną ceny projektów, ale tylko w pierwszym okresie - zanim architekci nauczą się współpracować ze specjalistami fizyki budowli. Potem ceny się obniżą - ku zadowoleniu inwestorów i nabywców nieruchomości, gdyż powstaną budynki naprawdę energooszczędne.

Producentów czeka także nowe podejście. Nie czekając na wymagania norm, muszą w szybkim tempie wykonać cały szereg badań określających brakujące dzisiaj dane fizyczne jak: współczynniki przewodności cieplnej $\lambda$, współczynniki oporu dyfuzyjnego $\mu$ lub $Sd$, współczynniki rozszerzalności termicznej k, współczynniki tłumienia akustycznego i dalsze - potrzebne do solidnego projektowania, tj. współpracy fizyka budowli z architektem, gdyż na dzień dzisiejszy sytuacja w tym zakresie woła o pomstę do nieba.

mgr inż. Jerzy Zembrowski
Baza Doradztwa Budowlanego BDB
www.bdb.com.pl

**Piśmiennictwo:**

1. Jerzy A. Pogorzelski „Fizyka cieplna budowli". PWN. Warszawa 1976 r.
2. Jerzy B. Zembrowski „Ruch ciepła i wilgoci przez przegrody budowlane". Kalejdoskop Budowlany. 3/2000
3. Jerzy B. Zembrowski „Opór dyfuzyjny krajowych przegród budowlanych". Kalejdoskop Budowlany. 9/2000
4. Jerzy B. Zembrowski „Docieplając pamiętajmy o wilgoci". Kalejdoskop Budowlany. 2/2004

■