

STEIDL,  
BOŻENA ORLIK-KOŹDOŃ  
Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

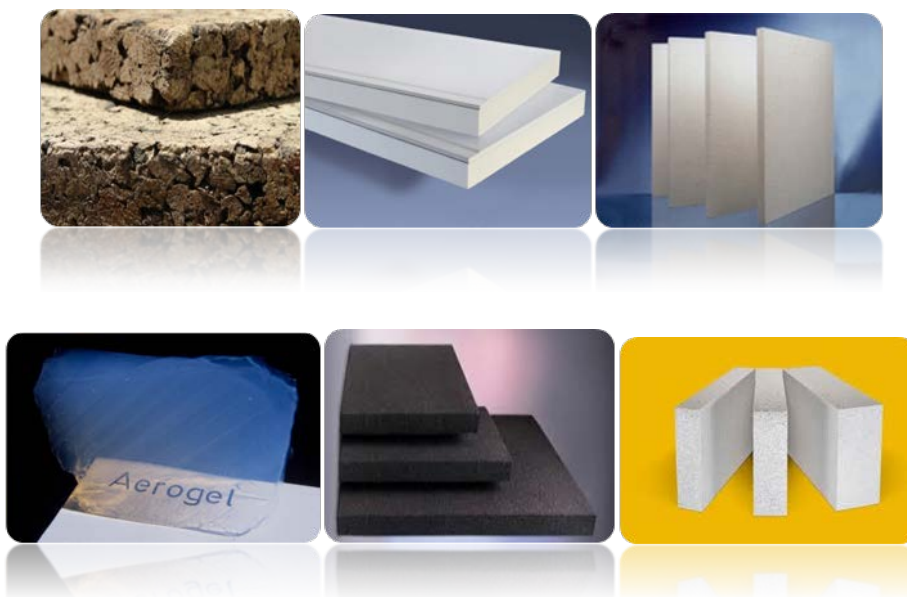
## DOCIEPLANIE PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH OD WEWNĄTRZ MATERIAŁY, TECHNOLOGIE I PROJEKTOWANIE

### 1. WPROWADZENIE

Istniejące budynki w większości przypadków nie spełniają aktualnych standardów w zakresie izolacyjności termicznej. Wykonanie izolacji cieplnej od strony zewnętrznej jest metodą docieplania stosowaną z powodzeniem od szeregu lat. Istnieją jednak pewne ograniczenia wykorzystania powyższych technologii, chociażby w przypadku obiektów o zabytkowym charakterze elewacji. Jako rozwiązanie alternatywne poprawy stanu ochrony cieplnej ścian zewnętrznych w tego rodzaju obiektach pozostaje wykonanie izolacji cieplnej od strony wewnętrznej. Takie rozwiązanie ma jednak pewne wady. Na skutek niskiej temperatury otoczenia spada znacznie temperatura wewnątrz przegrody, powodując w konsekwencji kondensację na styku warstwy konstrukcyjnej i izolacji cieplnej. Wówczas zależnie od warunków cieplno-wilgotnościowych panujących w pomieszczeniu, parametrów technicznych przegrody i sposobu wykończenia jej powierzchni wewnętrznej, w krótszym lub dłuższym czasie dochodzi do pogorszenia komfortu użytkowego takiego wnętrza. W analizowanym rozwiązaniu ściany zewnętrzne przestają akumulować ciepło, co niekorzystnie wpływa na mikroklimat pomieszczeń. Innym problemem pozostaje kwestia mostków termicznych, trudnych do wyeliminowania w ociepleniach od wewnątrz.

### 2. STOSOWANE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWO- TECHNOLOGICZNE

Wśród stosowanych rozwiązań materiałowych można wyróżnić rozwiązania tradycyjne, w których wykorzystane są klasyczne materiały termoizolacyjne z uwzględnieniem rozwiązań technicznych, pozwalających zapobiegać zawilgoceniu przegrody oraz rozwiązania na bazie nowoczesnych materiałów ociepleniowych (rys. 1).



Rys. 1. Nowoczesne materiały termoizolacyjne 1) płyty korkowe, 2) płyty poliuretanowe, 3) płyty klimatyczne, 4) aerogel, 5) szkło piankowe, 6) płyty hydroaktywne [8]

Fig. 1. Modern isolation materials 1) cork boards, 2) polyurethane boards, 3) climatic boards, 4) aerogel, 5) expanded glass, 6) hydroactive boards [8]

Technologie tradycyjne wykorzystują w swoich rozwiązaniach, m.in. styropian i wełnę mineralną. Na ocieplanej powierzchni wykonywana jest lekka konstrukcja z systemowych profili metalowych lub ruszt drewniany. Przestrzeń między elementami podkonstrukcji wypełnia się płytami termoizolacyjnymi w sposób najbardziej ścisły. Ocieplenie tego rodzaju powinno być szczelnie osłonięte warstwą skutecznej paroizolacji i wykończone płytami gipsowo-kartonowymi lub alternatywnie – dla styropianu (polistyrenu ekstrudowanego), tynkiem cienkowarstwowym (rys. 2).



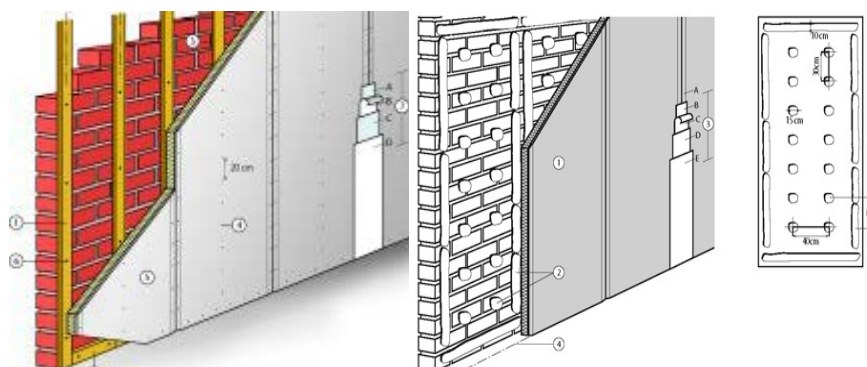
Rys. 2. Ocieplenie ściany zewnętrznej z użyciem wełny mineralnej [8]

Fig. 2. Thermal insulation of external wall with use of mineral wool [8]

W rozwiązaniach z zastosowaniem nowoczesnych materiałów wyróżnić można dwie metody [7]:

- ocieplenie ze szczelną barierą paroizolacyjną od strony wnętrza,
- systemy, które gwarantują swobodny przepływ strumienia dyfuzji przez przegrodę.

W szczelnych systemach z barierą paroizolacyjną najczęściej stosowane są płyty ociepleniowe z pianki poliuretanowej o niskim współczynniku przewodności cieplnej  $\lambda = 0,023-0,030$  [W/mK], jedno – lub obustronnie pokryte paroizolacyjną powłoką metaliczną lub papierem mineralnym z powłoką antydyfuzyjną. Grubość płyt jest w zakresie od 2 do 12 cm i zmienia się w zależności od producenta. Wybór sposobu montażu uzależniony jest w dużej mierze od rodzaju podłoża jak również wymogów budowlanych. Mogą być klejone bezpośrednio do podłoża klejem gipsowym (lub systemowym) lub mocowane z użyciem profili listwowych. Po zamocowaniu płyt ich styki są zamykane przed dyfuzją pary wodnej samoprzylepną taśmą uszczelniającą lub specjalnym kitem uszczelniającym. Warstwę wykończeniową można wykonać jako tynki cienkowarstwowe z siatką lub tapety ocieplające o gr. 3-4mm (rys. 3).



Rys. 3. Montaż płyt poliuretanowych: a) mocowanych na ruszcie, b) klejonych bezpośrednio do podłoża [8]

Fig. 3. Polyurethane boards assembly: a) grill mounted, b) glued directly to the surface [8]

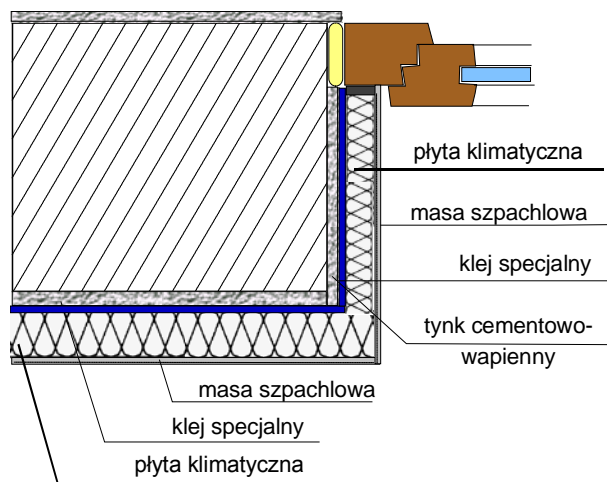
W tego typu rozwiązaniach zastosowanie znajduje również szkło piankowe. Jego przewodność cieplna wynosi  $\lambda = 0,038-0,040$  [W/m·K]. Grubość dostosowywana jest do obowiązujących wymagań cieplnych. Przykleja się je całościowo do ścian murowych, żelbetonowych i innych. Zaspachlowaną powierzchnię płyt można pokryć tynkiem, płytkami ceramicznymi. Systemy z paroizolacją od strony wnętrza sprawdzają się najlepiej w obiektach o wysokiej wilgotności. W związku z całkowitym uniemożliwieniem dyfuzji pary wodnej przez powierzchnię należy zapewnić najwyższą efektywność instalacji wentylacyjnej.

Drugą grupą nowoczesnych ociepleń wewnętrznych są systemy, w których stosowane są płyty o porowatej strukturze i wysokiej przepuszczalności pary wodnej określane jako płyty klimatyczne lub hydroaktywne: płyty wapienno-krzemianowe, płyty perlitowe, z autoklawizowanego betonu komórkowego [1, 7, 9].

Płyty klimatyczne [1] w postaci płyt samonośnych są materiałem niewymagającym usztywnień montażowych, a jedynie dokładnego przyklejenia do ocieplanej powierzchni. Płyty o wymiarach 125 x 100 cm i grubości od 2,5 do 5 cm produkowane są z silikatu wapiennego. Kryształki silikatu tworzą mikroporowaty szkielet, co umożliwia uzyskanie wysokich właściwości kapilaryzacyjnych materiału.

W przypadku wytworzenia się wilgoci pod warstwą ocieplenia nie ma ryzyka wystąpienia zagrzybienia muru i degradacji izolacji. Płyta klimatyczna, dzięki swojej aktywności kapilarnej pochłania wilgoć i rozmieszcza ją na całej swojej powierzchni, skąd zostaje ona odparowana. Materiał ten nie traci przy tym swoich właściwości

termoizolacyjnych, jest niepalny, bezemisyjny i w naturalny sposób, dzięki  $\text{pH} = 10$  ma właściwości antygrzybiczne (rys. 4). Podobnymi właściwościami charakteryzuje się klej służący do mocowania płyt do ścian i wzajemnych połączeń między nimi [8].



Rys. 4. Ocieplenie przegrody z użyciem płyt klimatycznych. Klejenie nietypowego ośnieża. Likwidacja mostka termicznego [1]

Fig. 4. Thermal insulation of bulkhead with use of climatic boards. Glueing of non-typical snow cover. Liquidation of heat leakage bridge [1]

Materiałem zalecanym do ocieplenia ścian od strony wewnętrznej jest także lekki beton komórkowy [9]. Są to mineralne płyty izolacyjne wykonane z bardzo lekkiej odmiany betonu komórkowego o gęstości do  $115 \text{ kg/m}^3$ . Materiał ten ma zdolność do chłonięcia wilgoci z powietrza oraz bardzo szybkiego wysychania. Wobec powyższego zalecany jest jako izolacja cieplna od wewnątrz. Współczynnik przewodzenia ciepła w stanie suchym,  $\lambda_{10, \text{dry}}$  wynosi  $0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Wartość obliczeniowa,  $\lambda_D = 0,043 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Płyty te charakteryzują się bardzo niskim oporem dyfuzyjnym (współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu=3$ ).

Oznacza to, że para wodna ma możliwość swobodnego wnikania w porowatą strukturę płyt. W kondensacji pary wodnej w przegrodzie istotną właściwością jest zdolność do oddawania wilgoci do otoczenia. Wzrost wilgotności otoczenia (powietrza) powoduje, że w każdym materiale wzrasta zawartość wilgoci na skutek sorpcji.

Cząsteczki pary wodnej transportowanej przez pory materiału mogą osadzać się na ścianach porów wewnątrz materiału na skutek (słabych) oddziaływań van der Waalsa. W efekcie na powierzchni ścian porów powstaje jedno- lub wielowarstwowy film cząsteczek wody.

Zjawisko to zachodzi w zakresie do 95% wilgotności względnej. Wzrost wilgotności materiału wraz ze wzrostem wilgotności powietrza opisuje krzywa sorpcji. Krzywa desorpcji odnosi się do sytuacji odwrotnej, tzn. spadku zawartości wilgoci w materiale, na skutek spadku wilgotności względnej otoczenia. Im mniejsza różnica krzywej histerezy sorpcji-desorpcji, tym wyższa zdolność materiału do oddawania gromadzonej wilgoci [3]. Przedmiotowe płyty wykazują się takimi właściwościami [9] (rys. 5).



Rys. 5. Wykorzystanie bloków z betonu komórkowego w termo renowacji: a) spichlerz w Gorzowie Wielkopolskim (konstrukcja wg muru pruskiego) b) wieża ciśnień w Radomiu (ściany z cegły pełnej) [9]

Fig. 5. Use of cellular concrete blocks in thermorenovation: a) the granary at Gorzów Wielkopolski (Prussian wall construction), b) the water tower at Radom (common brick wall) [9]

Za izolację hydroaktywną uznaje się również płyty z pianki poliuretanowej z perforowaną siecią otworów kapilarnych wypełnionych paro przepuszczalną masą mineralną. Wykończenie powierzchni płyt wykonywane jest w postaci mineralnych tynków cienkowarstwowych [7].

Prawidłowe funkcjonowanie ocieplenia tego typu wymaga wysokiej paroprzepuszczalności pozostałych warstw przegrody. W przypadku pomieszczeń mieszkalnych lub przeznaczonych na długotrwały pobyt ludzi, ze względu na naturalną regulację wilgotności wnętrza wynikającą ze swobodnego przepływu pary przez warstwy ocieplenia, jest to rozwiązanie korzystniejsze niż ocieplenie z paroizolacją. Niepalność stosowanych materiałów (klasa A1) powoduje ponadto, że są stosowane w obrębie dróg ewakuacyjnych i stref pożarowych.

Klasyczne izolacje cieplne to materiały nieprzezroczyste o niskim współczynniku przewodzenia ciepła. Ich podstawowym zadaniem jest ograniczenie strumienia ciepła. Izolacja transparentna jest izolacją, której zadaniem jest nie tylko ograniczenie strat ciepła przez zewnętrzną przegrodę budowlaną ale również możliwość przekazania światła słonecznego do wnętrza budynku. Obecnie stosowane są trzy systemy, które można zakwalifikować jako systemy izolacyjne z pozyskiwaniem energii słonecznej: oszklenie trzyszynowe z wypełnieniem kryptonem, obecnie rzadko stosowane jako forma izolacji transparentnej; granulaty z aerożelu krzemionkowego umieszczone pomiędzy dwoma taflami szklanymi zespolonymi; struktury komórkowe, lub kapilarne z tynkiem szklanym z absorberem pozyskującym energię słoneczną [5].

Aerożel to materiał będący rodzajem sztywnej piany o wyjątkowo małej gęstości, składający się w 90-99,8 % z powietrza, resztę stanowi żel tworzący nanostrukturę. Współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,018$  [W/m·K]. Izolacje z aerożelem produkowane są również w postaci technicznych izolacji nieprzezroczystych o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,013$  W/mK. Poniżej przedstawiono fotografie rozwiązania izolacji termicznej zagrzejnikowej w postaci płyt aerożelu.

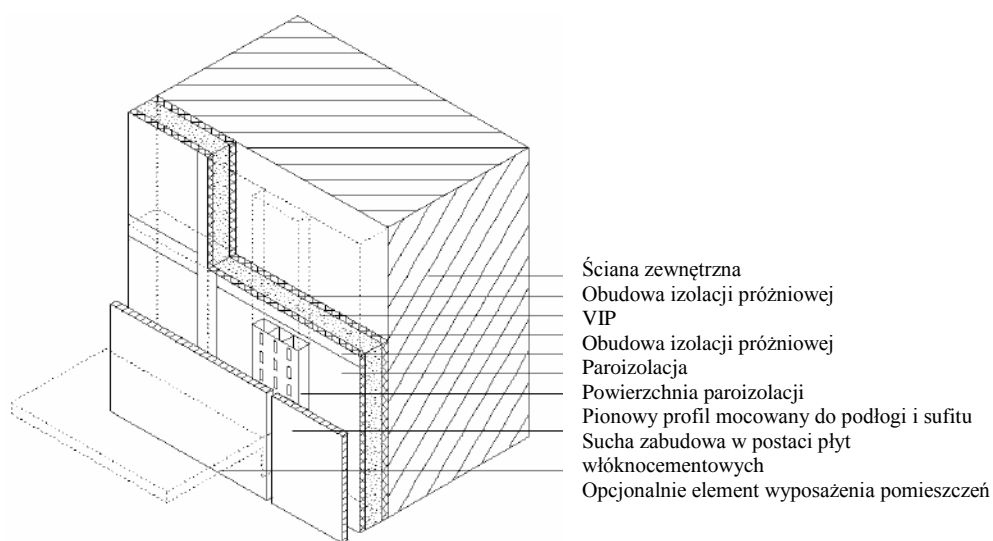




Rys. 6. Zastosowanie izolacji z aerożelu w miejscu pocienienia ściany zewnętrznej [2]

Fig. 6. Use of insulation from aerogel in place of external wall thinning [2]

Literatura przedmiotu przedstawia przykłady ocieplenia od wewnątrz za pomocą izolacji próżniowej (tzw. modułowy system ocieplenia od wewnątrz). Analizowana przegroda zewnętrzna w postaci ceramiki została ocieplona płytami izolacji VIP obustronnie zabezpieczonymi poprzez płytę wiórową lub włóknocementową.



Rys. 7. Zastosowanie izolacji VIP jako ocieplenie od wewnątrz [6]

Fig. 7. Use of VIP insulation as an internal thermal insulation [6]

Rozwiązania z zastosowaniem izolacji próżniowej zdobywają coraz więcej zwolenników w obiektach biurowych w dużych centrach miast, gdzie istotnym czynnikiem jest jak największe zmniejszenie grubości termoizolacji, kosztem utraty powierzchni biurowej (rys. 6-7).

### 3. PROJEKTOWANIE IZOLACJI CIEPLNEJ OD WEWNĄTRZ

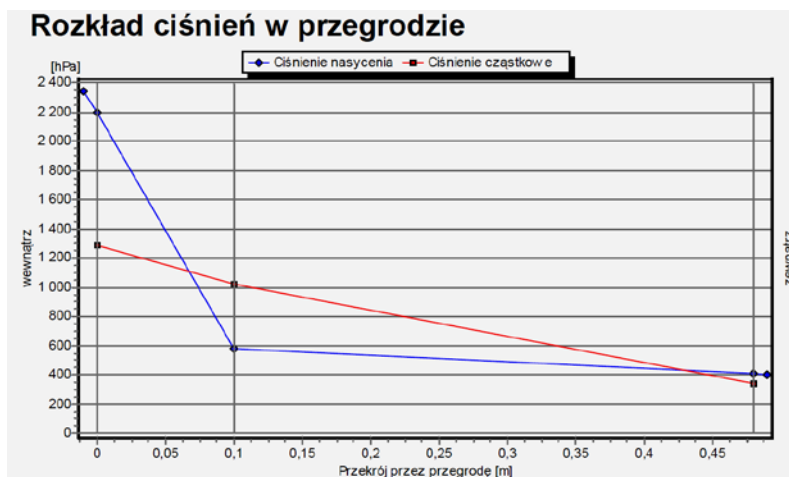
Zgodnie z wymogami rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie na wewnętrznej powierzchni przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja pary wodnej umożliwiającą rozwój grzybów pleśniowych.

W celu zachowania tego warunku, w przypadku przegród zewnętrznych oraz ich węzłów konstrukcyjnych, powinny charakteryzować się one współczynnikiem temperaturowym  $f_{Rsi}$  o wartości nie mniejszej niż wymagana wartość krytyczna. Oblicza się ją zgodnie z normą PN-EN ISO 13788 dotyczącą metody obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej [4].

W proponowanych przez normę metodach nazwanych metodami Fokina-Glasera założono, iż transport wilgoci polega wyłącznie na dyfuzji pary wodnej, opisanej równaniem dyfuzji Ficka.

Obliczenia prowadzi się, poczynając od pierwszego miesiąca, w którym przewidywana jest jakakolwiek kondensacja, przyjmując średnie miesięczne warunki zewnętrzne, oblicza się wielkość kondensacji lub odparowania w każdym z dwunastu miesięcy w roku. Masa wody, powstała w wyniku kondensacji, zakumulowana pod koniec tego miesiąca, w którym kondensacja pojawiła się jest porównywana z całkowitym odparowaniem w ciągu pozostałej części roku. Analizę powinno wykonywać się dla całego roku. Nie rozpatruje się ruchu powietrza przez ani we wnętrzu elementu budowlanego oraz podciągania kapilarnego i sorpcji.

Do analizy niezbędna jest znajomość parametrów klimatu lokalnego.



Rys. 8. Przykładowy rozkład ciśnień cząstkowych i stanu nasycenia dla przegrody wykonanej z cegły pełnej (38cm) i ocieplonej od wewnątrz styropianem (10cm),  
 $t_e=21^{\circ}\text{C}$   $t_i=-5^{\circ}\text{C}$

Fig. 8. Distribution of partial pressures and condensation state for the bulkhead made from common brick (38 cm) and internally insulated by styrofoam (10 cm). Physical parameters of materials included in table

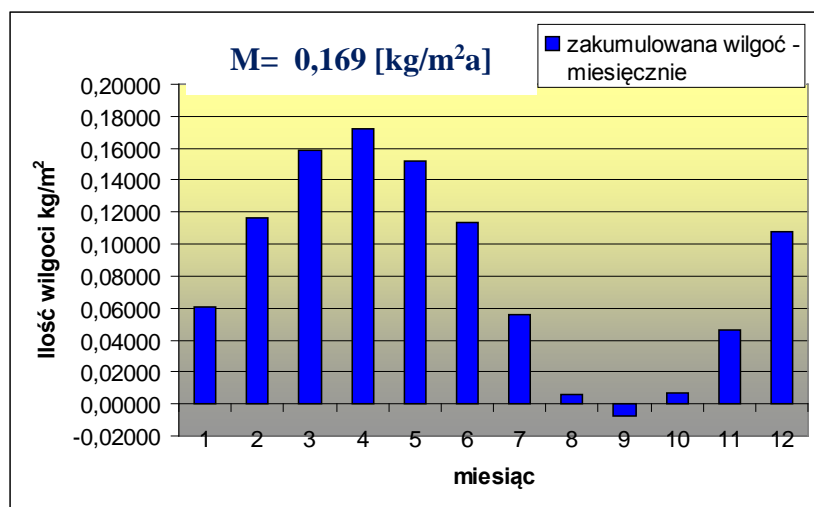
Dla badanych przegród wykonywany jest wykres prężności pary wodnej w przekroju. Wykorzystane w tym celu być mogą dostępne programy obliczeniowe (Architerm, Isover, itp.)

W przypadku przecinania się linii ciśnień, tj. występowania kondensacji należy obliczyć maksymalną ilość kondensatu występującą na każdej z powierzchni stykowych oraz miesiąc, w którym wystąpi maksimum (rys. 8). Należy również rozważyć ryzyko degradacji materiałów budowlanych oraz pogorszenia właściwości cieplnych w wyniku obliczonej maksymalnej ilości wilgoci, zgodnie z wymaganiami zawartymi w przepisach i wskazówkach w normach wyrobów.

Strumień kondensacji jest różnicą między ilością wilgoci przenoszanej i ilością wilgoci przenoszanej od powierzchni stykowej, na której występuje kondensacja:

$$g_c = \delta_0 \left( \frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \quad (1)$$

W komponencie budowlanym z więcej niż jedną powierzchnią kondensacji strumień parowania oblicza się oddzielnie dla każdej powierzchni stykowej. Wyrażenia na strumień parowania i kondensacji są takie same. Umownie kondensacja pojawia się wtedy, gdy wyrażenie jest dodatnie, a parowanie – gdy jest ujemne (rys. 9).



Rys. 9. Akumulacja wilgoci w warstwie muru (ściana jak dla przykładu nr 1, stacja meteorologiczna Katowice).

Pict. 9. Humidity accumulation in the layer of the wall (the wall as in example No. 1, meteorological station Katowice).

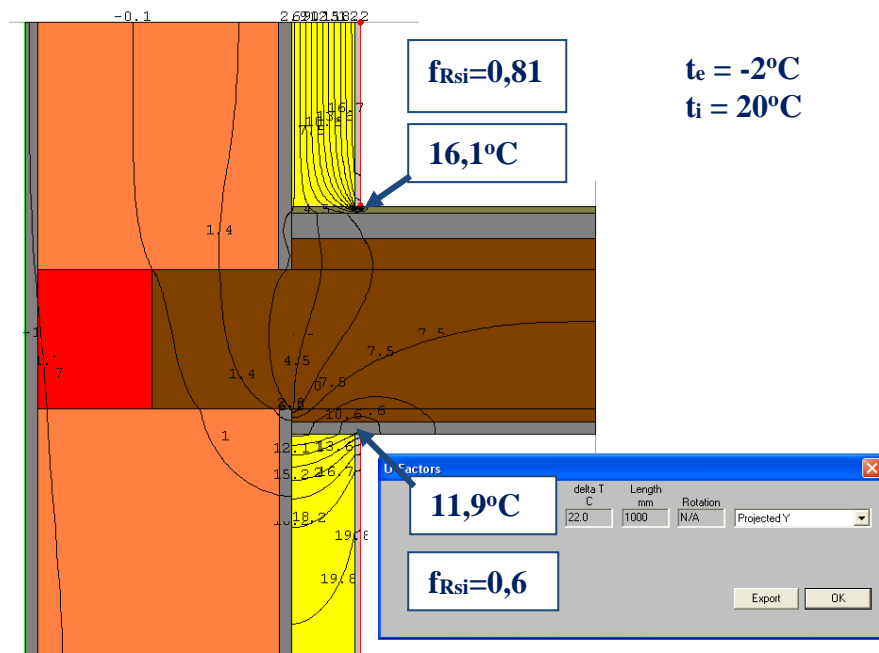
W każdym przypadku zmiany izolacyjności cieplnej przegrody należ analizować jej wpływ na zmiany temperatury powierzchni i możliwość powstawania warunków sprzyjających rozwojowi pleśni, lub zagrzybienia. Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji między-warstwowej zgodnie z normą winna być obliczana:

- na płaskiej części przegrody,



- w miejscach potencjalnych mostków cieplnych.

Charakterystyką obliczeniową wyrażającą stan powierzchni pod kątem ryzyka powstawania pleśni jest obliczeniowy czynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej  $f_{Rsi}$ . W miejscach mostków cieplnych temperaturę powierzchni można obliczać tylko z uwzględnieniem dwuwymiarowego przepływu ciepła przy użyciu MES – proste programy do analizy dwuwymiarowej typu THERM 6.2. (rys. 10) lub w prostych przypadkach katalog mostków np. KOBRA, gdzie są wbudowane elementy docieplone od wewnątrz.



Rys. 10. Przykład obliczeń kondensacji powierzchniowej w mostku cieplnym przy dociepleniu od wewnątrz – belka stropu drewnianego w murze ceglanym.  
Obliczenia, program THERM 6.2.

Fig. 10. Example of calculation of surface condensation in heat leakage bridge during the internal thermal insulation

#### 4. PODSUMOWANIE

Sposób ogrzania ściany budynku od strony wnętrza zależy od kilku czynników: sposobu eksploatacji pomieszczenia, rodzaju materiału ściany, rodzaju materiału użytego do docieplenia, technologii zamocowania dodatkowej termoizolacji.

Bardzo ważne jest uwzględnienie ich paroprzepuszczalności. Przegroda ogrzewana od strony wnętrza powinna być poddana szczegółowej analizie, która uwzględni oddziaływanie wszystkich czynników wpływających na gęstość i rozkład przenikającego przez nią strumienia dyfuzji pary wodnej. Na bazie wyników analizy można określić odpowiedni rodzaj materiału termoizolacyjnego, właściwą grubość jego warstwy, sposób wykończenia powierzchni wewnętrznej i pozostałe rozwiązania detali

ocieplenia mając na myśli szczególnie istotne mostki termiczne. Czynnikiem który może w sposób istotny zaburzyć wyniki uzyskane w przyjętej metodzie obliczeń jest stan wilgotnościowy przegrody przed dociepleniem. Stan ten należy przed przystąpieniem obliczeń określić w sposób jak najbardziej dokładny. Drugim elementem mającym znaczący wpływ na poprawność wyniku jest założony ( przewidywalny ) sposób eksploatacji pomieszczenia przez użytkownika. Czynnikiem ten należy uznać za podstawowy, determinujący stan faktyczny zawilgocenia przegrody podczas jej eksploatacji

## LITERATURA

- [1] Ecovario, Renovario. Materiały informacyjne i techniczne.
- [2] EnergieCluster. Kurs HLWD 2011 Innendämmung mit Aerogel. Materiały szkoleniowe 2011.
- [3] Krause P., Steidl T., Orlik B.: Renowacja ścian zewnętrznych w aspekcie izolacyjności termicznej. Konferencja szkoleniowa: Renowacja Budynków i Konserwacja Zabytków, Warszawa, 32-47.
- [4] PN EN ISO 13788: Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej. Metody obliczania.
- [5] Steidl T., 2011. Nowe rozwiązania w zakresie izolacji termicznych i docieplania budynków. WPPK Szczyrk.
- [6] Steinke G. Binz A. Bausysteme mit VIP. Seminar Energie und Umweltforschung im Bauwesen
- [7] Wanat A: Izolacje termiczne wewnętrznych ścian budynków stosowane od wewnątrz, Izolacje 9/2012, 26-29.
- [8] [www.e-izolacje.pl](http://www.e-izolacje.pl)
- [9] YTONG MULTIPOR - Ocieplanie od wewnątrz. Zeszyt techniczny oraz materiały techniczne.

## THERMAL INSULATION OF THE EXTERNAL BULKHEADS FROM THE INSIDE MATERIALS, TECHNOLOGIES AND GETIC DESIGN Summary

In the article materials and technologies used in making of external bulkheads' thermal insulation from the inside were presented. The rules of insulation system design with thermal and humidity phenomena taking place in the bulkhead were discussed.