

**OPRACOWANIE  
DOTYCZĄCE MOŻLIWOŚCI  
TERMOMODERNIZACJI BUDYNKÓW  
ZABYTKOWYCH ZE SZCZEGÓLNYM  
UWZGLĘDNIENIEM DOCIEPLENIA  
PRZEGRÓD PIONOWYCH**

*Autorzy:*

Dr inż. Agnieszka Kaliszuk-Wieteka

Dr inż. Szymon Firląg

Dr inż. Artur Miszczuk

Dr inż. Wojciech Terlikowski

Dr inż. Arkadiusz Węglarz

Warszawa maj 2019 r.

## Spis treści

<b>1. Specyfika ociepleń zabytków .....</b>	<b>3</b>
1.1. Podstawy fizyczne .....	3
1.2. Wymagania a zalecenia .....	4
<b>2. Rodzaje i właściwości przegród historycznych .....</b>	<b>6</b>
2.1. Typy podstawowych ustrojów nośnych historycznych budynków na terenie Polski .....	6
2.2. Konstrukcje drewniane .....	6
2.3. Konstrukcje murowe .....	7
2.4. Konstrukcje szkieletowe .....	7
<b>3. Materiały dociepleniowe.....</b>	<b>8</b>
<b>4. Ocieplania przegród .....</b>	<b>10</b>
4.1. Metody ociepleń – możliwości zastosowania, wady i zalety, rekomendacje i uzasadnienie .....	10
4.1.1. ETICS .....	10
4.1.2. Suche metody dociepleń zewnętrznych.....	12
4.1.3. Suche metody dociepleń wewnętrznych .....	12
4.1.4. Natryskowe metody dociepleń wewnętrznych .....	13
4.1.5. Docieplenia wewnętrzne z użyciem lekkich materiałów porowatych o otwartej strukturze (betony komórkowe i płyty klimatyczne) .....	14
4.1.6. Docieplenie wewnętrzne z użyciem materiałów zamkniętokomorowych .....	14
4.2. Gradacja kosztów .....	14
4.2. Uprozczone zestawienie metod dociepleń .....	17
<b>5. Problemy związane z termomodernizacją zabytków .....</b>	<b>17</b>
5.1. Wentylacja.....	17
5.2. Osuszanie, odsalanie, roboty wykończeniowe.....	19
5.3. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe .....	20
<b>6. Literatura .....</b>	<b>20</b>

## 1. Specyfika ociepleń zabytków

Termomodernizacja obiektów budowlanych staje się obecnie niezwykle ważna. Dzieje się tak, zarówno w związku z zaostrzającymi się wymaganiami przepisów prawa, jak i rosnącymi oczekiwaniami użytkowników w stosunku do komfortu użytkowania oraz ponoszonych kosztów eksploatacji.

Budynki zabytkowe stanowią specyficzną grupę obiektów. Będące pod ochroną konserwatora zabytków, bardzo często mają bogato zdobione fasady, czy wartościowe kształty ścian i okien, dlatego podejmowane działania modernizacyjne muszą uwzględniać ich wartość historyczną i artystyczną. W takiej sytuacji można wyszczególnić dwa główne sposoby przeprowadzenia termomodernizacji ścian zewnętrznych:

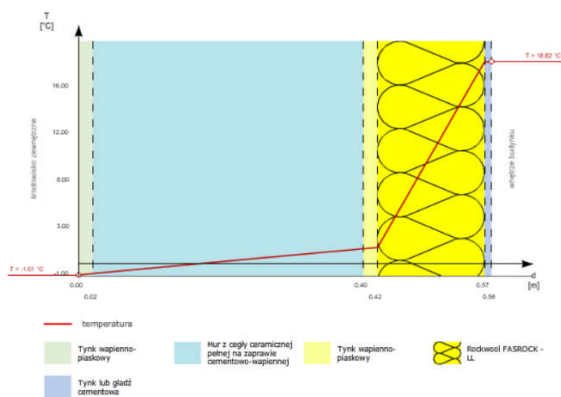
- docieplenie od zewnętrznej (chłodniejszej) strony przegrody, gdy:
  - nie zostały zachowane oryginalne wyprawy lub detale architektoniczne,
  - obiekt nie jest obiektem zabytkowym, ale znajduje się w strefie podlegającej ochronie
- docieplenie od wewnętrznej (cieplejszej) strony przegrody, w przypadku, gdy sama elewacja ma wartość zabytkową.

### 1.1. Podstawy fizyczne

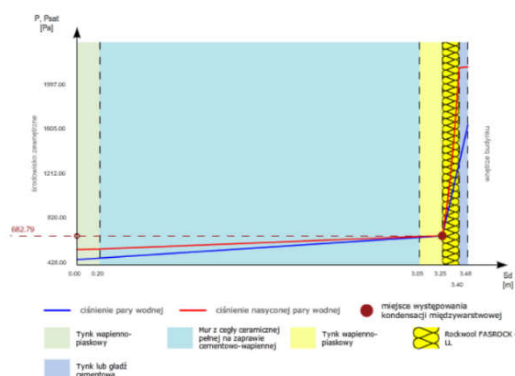
Nim podejmie się decyzję o sposobie ocieplenia należy koniecznie rozważyć zagadnienia fizyki budowli, które mają zdecydowany wpływ na późniejsze funkcjonowanie budynku po przeprowadzonej termomodernizacji.

Generalnie, zgodnie z zasadami fizyki budowli, wykonywanie ocieplenia budynków od wewnątrz jest niewłaściwe, ze względu na możliwość występowania:

- przemarzania konstrukcji (zmiana rozkładu temperatury w przekroju przegrody i przesunięcie izotermy  $0^{\circ}\text{C}$  w kierunku wnętrza obiektu) (rys. 1),
- wykraplania się pary wodnej (zwiększenia ryzyka wystąpienia kondensacji wglębnej na styku izolacji termicznej i powierzchni konstrukcji oraz kondensacji powierzchniowej, w węzłach konstrukcyjnych - mostki termiczne, co może prowadzić do powstawania i rozwoju grzybów i pleśni) (rys. 2) wraz z możliwymi konsekwencjami odnoszącymi się do stanu konstrukcji,
- większej liczby mostków termicznych (zwiększenie udziału mostków termicznych w całkowitym bilansie cieplnym budynku w wyniku niezachowania ciągłości warstwy termoizolacji),
- zmniejszonej pojemności oraz stateczności cieplnej przegród zewnętrznych,
- trudności zapewnienia szczelności przejść instalacyjnych przez powłoki paroizolacyjne.

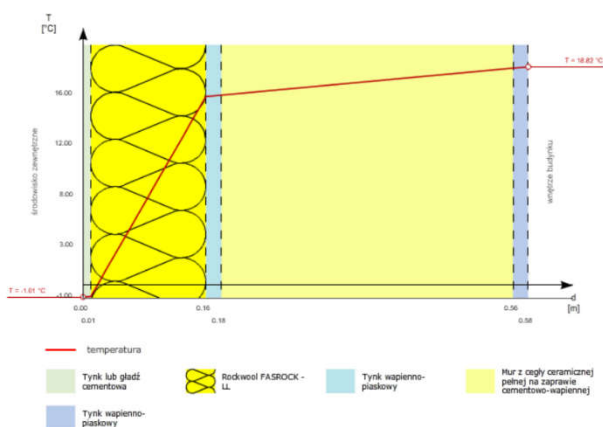


Rys. 1. Rozkład temperatury w przegrodzie ocieplonej od strony wewnętrznej.

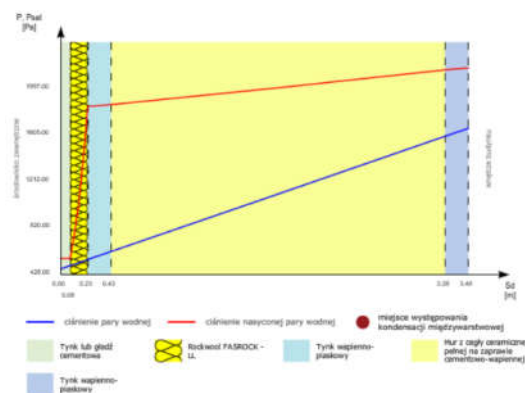


Rys. 2. Rozkład ciśnienia pary wodnej w przegrodzie ocieplonej od strony wewnętrznej.

Docieplenie budynku od strony zewnętrznej ogranicza możliwość występowania m.in. przemarzania konstrukcji (Rys. 3) oraz ryzyka występowania kondensacji pary wodnej wewnątrz przegrody (Rys. 4), a także minimalizuje występowanie mostków termicznych (znaczące zmniejszenia strat na przenikanie oraz kondensacji powierzchniowej w tych miejscach)



Rys. 3. Rozkład temperatury w przegrodzie ocieplonej od strony zewnętrznej.



Rys. 4. Rozkład ciśnienia pary wodnej w przegrodzie ocieplonej od strony zewnętrznej.

## 1.2. Wymagania a zalecenia

Zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami techniczno-budowlanymi, zawartymi w Warunkach Technicznych [1], elementy budynku, podlegające modernizacji, przebudowie lub rozbudowie, po jej wykonaniu, muszą spełniać następujące kryteria, w zakresie zagadnień ciepłno-wilgotnościowych:

- zapewniać odpowiednią izolacyjność termiczną przegród zewnętrznych, stanowiących granicę termiczną budynku (w przypadku ścian zewnętrznych przy  $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ , maksymalny współczynnik przenikania ciepła wynosi  $U_{C(\max)} = 0,23 [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$  do 31.12.2020,  $U_{C(\max)} = 0,20 [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$  od 31.12.2020),
- nie dopuszczać do narastającej w kolejnych latach kondensacji międzywarstwowej w przegrodach zewnętrznych,
- nie dopuszczać do występowania krytycznej temperatury powierzchni wewnętrznej przegrody, mogącej spowodować rozwój grzybów pleśniowych (na powierzchni przegrody oraz w węzłach),
- ograniczać ryzyko przegrzania pomieszczeń latem.

Obostrzenia te wiążą się nie tylko ze względami ekonomicznymi, skorelowanymi z koniecznością zmniejszenia strat ciepła, ale również warunkami komfortu użytkowania pomieszczeń. Na temperaturę odczuwalną w pomieszczeniu ma wpływ, oprócz temperatury powietrza wewnętrznego, kilka czynników, między innymi temperatura powierzchni wewnętrznej przegród zewnętrznych, prędkość przepływu powietrza i jego wilgotność względna. Oznacza to, że temperatura odczuwalna w pomieszczeniu będzie niższa od temperatury powietrza, jeśli przegroda nie będzie dobrze izolowana, ponieważ temperatura jej powierzchni będzie znacznie odbiegać od temperatury powietrza w pomieszczeniu.

Z ochroną cieplną wiąże się również zużycie energii w budynku. Modernizowane obiekty zabytkowe nie muszą spełniać obecnie obowiązujących wymagań takich jak np.: graniczna wartość wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej EP, jak dla obiektów nowo wznoszonych. Dodatkowo od obowiązujących obostrzeń dotyczących poziomu izolacyjności cieplnej można uzyskać odstępstwo, jeśli projektant wykaże, że stosując dostępne metody techniczne, nie ma możliwości spełnienia wymagań bez naruszania przepisów budowlanych i wytycznych konserwatorskich. Jednak gorsze parametry przegród zewnętrznych będą przekładać się na pogorszenie bilansu energetycznego budynku oraz na gorszy komfort cieplny użytkowników i podwyższenie kosztów eksploatacji.

W celu osiągnięcia takiego samego zapotrzebowania na energię, jak w przypadku docieplenia przegrody od zewnątrz, należy zwiększyć grubość izolacji przy ociepleniu od wewnątrz. Do wad ocieplenia od strony wyższych temperatur przegrody można zaliczyć również zmniejszenie powierzchni pomieszczeń, zwiększenie kosztu wykonania ocieplenia, a w niektórych przypadkach konieczność (po wykonaniu ocieplenia) korekty położenia grzejników oraz długości doprowadzonych gałęzek instalacji centralnego ogrzewania.

Kompromisem dla zachowania oryginalnej elewacji (której odtworzenie po termomodernizacji od zewnątrz nie jest możliwe) oraz podstaw fizyki budowli jest ocieplenie od wewnątrz budynku elewacji o bogatym wystroju architektonicznym oraz ocieplenie od zewnątrz elewacji znajdującej się od strony mniej eksponowanej (np.: mniej dostępnej).



*Rys. 5. Elewacje zabytkowej kamienicy - frontowa elewacja o bogatym detalu z koniecznością docieplenia wewnętrznego oraz elewacje boczne i tylne dla których należy rozważyć możliwość docieplenia od strony zewnętrznej*

## **2. Rodzaje i właściwości przegród historycznych**

### **2.1. Typy podstawowych ustrojów nośnych historycznych budynków na terenie Polski**

Podstawowymi ustrojami nośnymi zabytkowych budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej na terenach miejskich Polski, do XIX wieku, są ustroje ścianowe. Oznacza to, że wszystkie siły i oddziaływania działające na budynek są przekazywane poprzez fundament na grunt, przy pomocy ścian nośnych i usztywniających, wchodzących w skład ustroju konstrukcyjnego. Ściany te są wzajemnie przewiązane i zapewniają, łącznie ze stropami, sztywność przestrzenną całego budynku. Ma to istotne znaczenie, gdyż ściany nośne zewnętrzne są jednocześnie przegrodami oddzielającymi środowisko zewnętrzne od wnętrza budynku. Ściany nośne tworzące ustroje nośne wykonywane były zazwyczaj w technologii murowanej i drewnianej. Ustroje szkieletowe realizowane były rzadziej - szczególnie czas rozwoju tych konstrukcji datuje się na okres międzywojenny) - ze słupami żelbetowymi, stalowymi, żeliwnymi, drewnianymi. W budynkach realizowanych na obrzeżach miast i na terenach wiejskich, stosowana była również technologia wykonywania ścian z gliny – cegły suszonej tzw. surówki lub gliny ubijanej.

### **2.2. Konstrukcje drewniane**

Typowymi, najbardziej rozpowszechnionymi, drewnianymi ustrojami konstrukcyjnymi w zabytkowych budynkach mieszkalnych są ustroje: wieńcowe (zrębowe), sumikowo – łątkowe, słupowo – ryglowe (szachulcowe, mur pruski). Są to konstrukcje znane, stosowane do dzisiaj, łatwo dające się naprawiać i odtwarzać przy rekonstrukcjach. Ustroje wieńcowe wykonywane były z długich bali drewnianych, okalających cały budynek, tworząc jednorodną, drewnianą przegrodę, uszczelnianą naturalnymi materiałami, takimi jak słoma, mech, pakuły, sznur. Wieńce łączone są ze sobą w narożnikach przy pomocy specjalnych, ciesielskich zamków. Analogicznymi konstrukcjami są konstrukcje sumikowo-łątkowe, w których poziome bale, tzw. sumiki mają mniejsze długości i łączone są poprzez odpowiednie zamki z pionowymi

słupkami, zwanymi łątkami. Bardziej zaawansowaną formą ciesielskiej konstrukcji drewnianej był ustrój szkieletowy-słupowo-rygłowy. Belki tworzące ustrój nośny połączone były również ciesielskimi zamkami (należy zaznaczyć, że zamki, ich kształt i sposób łączenia, mają charakter regionalny i w różnych obszarach Polski wyglądają inaczej), przy czym sztywność przestrzenna budynku zapewniona była poprzez ukośne zastrzały umieszczane w narożach budynków. Przestrzeń między elementami szkieletu wypełniona była murem ceglanym (tzw. mur pruski), gliną lub obustronnie tynkowaną polepą.

### **2.3. Konstrukcje murowe**

Typowymi ustrojami ścianowymi murowanymi są ustroje podłużne (układ ścian nośnych jest równoległy do osi podłużnej budynku), poprzeczne (układ ścian nośnych jest prostopadły do osi podłużnej budynku), mieszane (w części budynku jest układ podłużny, w części poprzeczny) i krzyżowe (zarówno ściany równoległe do osi podłużnej budynku, jak i prostopadłe są ścianami nośnymi). Są to układy ścianowe znane i stosowane do dzisiaj. Konstrukcje murowe wykonywane są z elementów murowych, które są łączone ze sobą w odpowiedni sposób (tzw. wiązanie lub wątek murarski), przy pomocy zaprawy. Na terenie Polski stosowane były zaprawy wapienne, wapienno-cementowe, cementowe, gliniane, gliniano-cementowe, gipsowe. Należy zaznaczyć, że zaprawy cementowe powszechnie zaczęto stosować dopiero po II wojnie światowej. Elementami murowymi były elementy kamienne tworzące mury dzikie, półdzikie (odpowiednio segregowane), warstwowe, rzędowe, z ciosów i bloczków kamiennych, cegła ceramiczna wypalana, rzadziej suszona, pustaki ceramiczne, silikaty i beton komórkowy (okres międzywojenny). W różnych okresach historycznych stosowano różne wiązania (wątki murarskie), z najbardziej powszechnym – wiązaniem pospolitym. Na przestrzeni historii wykonywano przede wszystkim mury jednowarstwowe, rzadziej szczelinowe (jednoszczelinowe, dwuszczelinowe), dwuwarstwowe lub wielowarstwowe. W okresie międzywojennym nastąpił olbrzymi rozkwit typów elementów murowych [2], zaczęto produkować pustaki ceramiczne i inne elementy murowe, które zaczęły wypierać stosowanie cegieł ceramicznych pełnych. Ze względu na potrzebę powojennych oszczędności w całej Europie, także w większych miastach Polski zaczęto stosować mury „oszczędnościowe” [2], które miały mniejszą sztywność przestrzenną, wynikającą z mniejszego zużycia elementów murowych, w stosunku do murów ceglanych, jednowarstwowych. Przykładami takich murów są mury „oszczędnościowe” wykonywane wg sposobów [2] : Katona, Foulha, Taubera, Eckerla, Siebolda, Soupea.

### **2.4. Konstrukcje szkieletowe**

W konstrukcjach nośnych najwcześniej spośród tworzyw metalowych stosowane było żeliwo – miało ono postać surówki lub żelaza lanego [3]. Zawierało ono 2,5 – 4,5% węgla. W drugiej połowie XIX wieku i w pierwszych latach XX wieku z żeliwa wyrabiano elementy konstrukcyjne przede wszystkim poddawane ściskaniu, w tym elementy ścian szkieletowych: rurowe słupy o stałej lub zmiennej średnicy. W budynkach z XIX wieku stosowano również

elementy konstrukcyjne – belki, podciagi, słupy, konstrukcje dachów, i ustroje szkieletowe - wykonywane z żelaza kowalnego [3] (stali zgrzewanej). W stosunku do żeliwa, stal zgrzewana charakteryzowała się małą zawartością węgla i dużą zawartością zanieczyszczeń żużlowych (związków siarki i fosforu) [3]. Na przełomie XIX i XX wieku zaczęto stosować stal zlewną, o dowolnie ograniczonej zawartości węgla, krzemu i manganu, która charakteryzowała się lepszymi od w/w stali właściwościami mechanicznymi [3]. W okresie międzywojennym w Polsce nastąpił gwałtowny rozwój budownictwa z wykorzystaniem konstrukcji i ustrojów nośnych ze stali.

### 3. Materiały dociepleniowe

Współcześnie na rynku mamy dostępnych coraz więcej materiałów izolacyjnych. Rynek zmienia się bardzo dynamicznie, dlatego znajomość ich parametrów jest niezbędna przy podejmowaniu decyzji o rodzaju i metodzie ocieplenia.

Podstawowym podziałem materiałów izolacyjnych jest podział na [4]:

- mineralne materiały komórkowe,
- mineralne materiały włókniste,
- syntetyczne materiały komórkowe,
- aerożele stabilizowane włóknami,
- materiały naturalne,
- próżniowe panele izolacyjne,
- maty refleksyjne.

W niniejszym opracowaniu materiały izolacyjne zostaną podzielone na grupy, zgodnie z ich udziałem w rynku [5]:

- materiały najczęściej stosowane:
  - polistyreny ekspandowane nazywane styropianami – najbardziej popularny materiał izolacyjny przede wszystkim ze względu na swoją cenę i względnie łatwą obróbkę, średnie parametry cieplne  $\lambda \sim 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ , występują na rynku również odmiany o parametrach niższych (lepszach); Specjalną odmianą są polistyreny grafitowe (szare) – odmiana styropianu spienianego z dodatkiem grafitu (grafit minimalizuje przepływ ciepła na drodze promieniowania) poprawiając parametry cieplne materiału do  $\lambda \sim 0,030\text{-}0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
  - polistyren ekstrudowany zwany styrodurem, tworzony w procesie wtlaczania gazu dzięki czemu powstaje piana o zamkniętej strukturze poprawiająca właściwości cieplne w stosunku do polistyrenu ekspandowanego, czyli mniejsza  $\lambda$  i nasiąkliwość oraz większa wytrzymałość, parametry cieplne  $\lambda \sim 0,029\text{-}0,038 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
  - wełna mineralna - materiał nieorganiczny, włóknisty - produkowana z surowca skalnego (wełna kamienna) lub piasku kwarcowego i stłuczki szklanej (wełna szklana); duży wpływ na parametry wełen ma ułożenie włókien, parametry cieplne  $\lambda = 0,035\text{-}0,045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- materiały wchodzące na rynek jako alternatywa dla polistyrenów i wełen mineralnych:



- piany PUR (poliuretanowe) i PIR (poliizocyjanuratu) – w formie płyt lub natrysku, o otwartej lub zamkniętej budowie wewnątrzkomorowej i współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  od 0,02 W/(m·K) (najczęściej  $\lambda \sim 0,03$  W/(m·K)) oraz parametrach ogniowych lepszych od polistyrenów, a słabszych niż wełny,
  - piany fenolowe (z żywic fenolowo-formaldehydowych) i piany rezolowe, o dużej wytrzymałości mechanicznej oraz piany mocznikowo-formaldehdowe (UF) i polietylenowe (PEF),
- materiały specjalne najczęściej stosowane w izolacjach od wewnątrz lub jako dodatki do innych materiałów
- płyty z krzemianu wapnia (zwane „klimatycznymi”) tworzącego strukturę otwartego szkieletu, umożliwiające szybkie wysychanie do wnętrza pomieszczeń, parametry cieplne  $\lambda = 0,05-0,1$  W/(m·K),
  - płyty ze spienionego krzemianu wapnia o trochę gorszej paroprzepuszczalności niż płyty z krzemianu wapnia, parametry cieplne  $\lambda \sim 0,042$  W/(m·K),
  - płyty z wermikulitu eksfoliowanego mogą być stosowane do bezpośredniego kontaktu ze źródłem ciepła,
  - szkło piankowe – wytworzony w procesie recyklingu szkła przez jego roztopienie i dodanie środków pianotwórczych, produkowane w odmianie zamkniętych porów (mała nasiąkliwość, nieprzepuszczalne dla pary wodnej, czarne, parametry cieplne  $\lambda \sim 0,05$  W/(m·K)) oraz otwartych porów (jasne barwy,  $\lambda = 0,012$  W/(m·K)),
  - włókna celulozowe – granulaty lub maty produkowane w procesie ponownego przerobienia i impregnowania resztek papierowych (zyskujących odporność na działanie mikroorganizmów, owadów oraz ognia), dobre parametry akustyczne, parametry cieplne  $\lambda = 0,037-0,05$  W/(m·K),
  - perlit ekspandowany – powstający ze szklistej skały pochodzenia wulkanicznego (główny składnik krzemionka), obróbka termiczna w bardzo wysokich temperaturach powoduje powstanie materiału o zamkniętych mikroporach o  $\lambda = 0,045-0,65$  W/(m·K), rzadko stanowiący samodzielny materiał izolacyjny (płyty silikatowo-perlitowe), najczęściej stanowi dodatek do tynków, zapraw i betonów,
- materiały „przyszłości” dopiero wchodzących na rynek lub w fazie badań prototypowych
- aerożele – materiał wytworzony na bazie krzemionki, odporny na działanie ognia, posiada wysoką wytrzymałość na ściskanie, o bardzo dobrych parametrach cieplnych  $\lambda = 0,012-0,021$  W/(m·K) (zmniejszenie grubości izolacji w stosunku do materiałów typu styropian), wysoka cena,
  - izolacje próżniowe (panele próżniowe VIP czyli Vacuum Insulation Panel) – płyty wytworzone z materiału na bazie krzemionki o strukturze mikroporów, które przed szczelnym zabezpieczeniem foliami są pozbawiane powietrza, gotowe elementy izolacyjne – produkowane pod wymiar (nie mogą być docinane/ dopasowywane na budowie), są wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne dlatego najczęściej występują

w osłonie na przykład z płyt styropianowych lub w gotowych do ułożenia półprefabrykatakach; ich parametry cieplne są obecnie najlepszymi na rynku  $\lambda = 0,003-0,008 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ .

- materiały ekologiczne o najmniejszym wpływie na środowisko, odnawialne, o najmniejszym śladzie węglowym, ich parametry cieplne są zbliżone do typowych materiałów izolacyjnych  $\lambda = 0,04-0,06 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 
  - wełna drzewna (wolina),
  - płyty lniane i konopne,
  - maty trzcinowe
  - płyty korkowe
  - płyty pilśniowe
  - wełna owcza.

## 4. Ocieplenia przegród

Przystępując do termomodernizacji przegród zewnętrznych w obiektach zabytkowych należy pamiętać, że proces ten wymaga dobrej znajomości specyfiki poszczególnych metod ociepleń, uwarunkowań ich stosowania oraz charakterystyki i odpowiedniego doboru prezentowanych wcześniej materiałów.

### 4.1. Metody ociepleń – możliwości zastosowania, wady i zalety, rekomendacje i uzasadnienie

W świetle przedstawionych wcześniej informacji dotyczących podstaw fizycznych sposobu ocieplenia budynku, przystępując do procesu planowania i projektowania ocieplenia przegród **w budynkach zabytkowych należy indywidualnie przeanalizować każdy przypadek rozważając, jaki sposób ocieplenia jest możliwy**. Zdarzają się przypadki, w których wskazane jest rozważenie kilku metod docieplenia obiektu biorąc pod uwagę specyfikę poszczególnych elewacji (Rys.5.)

#### 4.1.1. ETICS

Najbardziej popularna metoda ociepleń i dociepleń przegród od strony zewnętrznej (ang. External Thermal Insulation Composite System, dawniej BSO bezspoinowy system ociepleń, a jeszcze wcześniej metodą lekką-mokrą. Metoda zakłada wykonanie na przygotowanym podłożu ściany warstwy termoizolacyjnej wraz ze współpracującymi warstwami i materiałami pomocniczymi. W skład systemu wchodzi:

- składniki podstawowe:
  - zaprawa klejąca,
  - materiał termoizolacyjny,
  - łączniki mechaniczne,
  - warstwa zbrojąca,

- warstwa elewacyjna,
- składniki uzupełniające:
  - materiały do wykończenia detali: listwy cokołowe, kątowniki ochronne, profile dylatacyjne itp.,
  - materiały uszczelniające,
  - inne niezbędne akcesoria (np. profile ozdobne, wokół okienne itp.).

Poszczególne elementy systemu pełnią określoną funkcję i wszystkie muszą być ze sobą kompatybilne.

Najczęściej stosowanymi materiałami termoizolacyjnymi są płyty z polistyrenu ekspandowanego EPS, polistyrenu ekstrudowanego XPS, wełny mineralnej rzadko płyty z piany fenolowej, PIR czy PUR.

Odpowiednią stateczność systemu i mocowanie do podłoża zapewniają zaprawa klejąca oraz łączniki mechaniczne (kołki).

Odporność na uszkodzenia oraz podłoże pod warstwę elewacyjną zapewnia warstwa zbrojąca (warstwa zaprawy z wtopioną siatką, np. z włókna szklanego), a przed warunkami atmosferycznymi chroni oraz stanowi element dekoracyjny - warstwa elewacyjna (wyprawa tynkarska, płytki elewacyjne i profile ozdobne).

System ETICS ma wiele zalet. Oprócz oczywistych takich jak łatwość wykonania, powszechność stosowania, ochrona elewacji przed wpływami atmosferycznymi (ochrona przed starzeniem), przez poprawę mikroklimatu wewnątrz, zwiększenie stateczności cieplnej obudowy oraz ograniczenie/wyeliminowanie mostków termicznych (przy prawidłowym projekcie i wykonaniu), aż do zmniejszenia ryzyka kondensacji pary wodnej we wnętrzu przegrody.

Problemami występującymi przy dociepleniach omawianym systemem bywają przede wszystkim niewystarczająco przemyślane detale architektoniczne oraz zjawiska towarzyszące np.: wymiana okien na szczelne bez usprawnienia systemu wentylacji.

Podstawowym ograniczeniem tej metody jest konieczność prowadzenia prac w określonych warunkach atmosferycznych, ze względu na wykorzystanie procesów opartych na wodzie – dlatego należy przestrzegać wytycznych dotyczących procesów technologicznych.

W obiektach zabytkowych ETICS może być stosowany jedynie w wyjątkowych przypadkach i z odtworzeniem charakteru tynków. Należy jednak pamiętać, że w przypadku ścian z elementami drwienianymi konieczne jest sprawdzenie przebiegu zjawisk dyfuzji, aby wyeliminować ryzyko korozji biologicznej (najczęściej przy tego rodzaju ścianach należy stosować materiał izolacyjny o małym współczynniku oporu dyfuzyjnego).

#### **4.1.2. Suche metody dociepleń zewnętrznych**

Alternatywą dla zewnętrznych systemów dociepleń mokrych są systemy suche. Elementami systemu są:

- stelaż mocujący (tworzywowy, drewniany, stalowy),
- materiał izolacyjny (bardzo często wełna mineralna),

- folia wiatroszczelna (paroprzepuszczalna) zapobiegająca „przewianiu” materiału termoizolacyjnego,
- pustka wentylacyjna umożliwiająca ewentualne odprowadzenie pary wodnej na zewnątrz elementu,
- okładzina elewacyjna pozwalająca na zastosowanie materiałów szlachetniejszych takie jak płyty kamienne np.: z piaskowca czy granitu, ale również odtworzenia nawet elementów okładzin murowanych.

Zastosowanie stelaży mocowanych mechanicznie, między którymi umocowuje się materiał izolacyjny, uniezależnia przebieg prac od warunków atmosferycznych, co jest podstawową zaletą metody - można je wykonywać nawet w ujemnej temperaturze, przy pewnych ograniczeniach pogodowych (porywisty wiatr itp.).

Metoda ta jest zazwyczaj bezpieczna w stosowaniu w obiektach zabytkowych, a proces dyfuzji nie prowadzi do ryzyka wykroplenia pary, gdyż para wodna dyfundująca przez przegrody odprowadzana jest pustką wentylacyjną na zewnątrz elementu.

#### **4.1.3. Suche metody dociepleń wewnętrznych**

Gdy po przeprowadzonej analizie możliwości termomodernizacyjnych i odrzuceniu wszystkich możliwości dociepleń od strony zewnętrznej - gdy wartość historyczna elewacji jest wysoka i stan elewacji nie wymusza natychmiastowego remontu, rozważa się sposoby dociepleń od strony wewnętrznej. Najpowszechniejszym sposobem docieplenia od wewnątrz jest system suchy analogiczny z systemem suchym zewnętrznym. Charakteryzuje się on jednak istotnymi różnicami.

System suchy wewnętrzny najczęściej wykonuje się w stelażu drewnianym lub metalowym z zastosowaniem wełny mineralnej w matach lub płytach jako materiału izolacyjnego. Jak pisano wcześniej wełna jest materiałem paroprzepuszczalnym. Zastosowanie jej od strony wewnętrznej skutkowałoby gwałtownym wzrostem ryzyka wystąpienia kondensacji międzywarstwowej w styku materiału izolacyjnego i konstrukcyjnego. Niezbędne jest więc zastosowanie paroizolacji od strony wewnętrznej pod materiałem wykończenia ścian np.: płytami gipsowo-kartonowymi. Zapewnienie skutecznego działania warstwy paroizolacyjnej wymaga bezwzględnie szczelnego połączenia między sobą (klejenie/zgrzewanie) poszczególnych brytów materiału, uszczelnienie taśmami połączeń z oknami (Rys. 6).



*Rys 6. Przykład staranie wykonanej warstwy paroszczelnej i szczelnego połączenia z oknem zewnętrznym*

Stosowanie metody suchej od strony zewnętrznej powinno również zawierać analizę zintensyfikowanego przepływu ciepła przez węzły konstrukcyjne będące mostkami termicznymi. Samo docieplenie przegrody od strony wewnętrznej nie wpływa na zwiększenie ryzyka kondensacji na jej powierzchni, ale w miejscach węzłów, gdzie w wyniku zwiększonej gęstości strumienia ciepła następuje intensyfikacja tego przepływu i spadek temperatury do temperatury punktu rosy, a w określonych warunkach, również do temperatury krytycznej ryzyka rozwoju grzybów pleśniowych. Należy, więc tak rozwiązać detale węzłów (połączeń elementów konstrukcji), aby materiał izolacyjny, tam gdzie to możliwe był, na pewnym określonym obliczeniowo odcinku, wyprowadzony na sąsiadujące przegrody stropowe czy obrzeża okienne (Rys.6.).

Stosowanie metody suchej od strony wewnętrznej często jest traktowane jako wygodny sposób późniejszej aranżacji i dekorowania wnętrza. Należy jednak pamiętać, że nawiercanie powierzchni płyt gipsowo-kartonowych może również prowadzić do podziurawienia warstwy folii paroizolacyjnej.

Stosowanie tej metody wymaga nie tylko sprawdzenia zagadnień ciepło-wilgotnościowych powierzchni przegród, ale przede wszystkim detali węzłów – połączeń różnych elementów np.: strop/ściana.

#### **4.1.4. Natryskowe metody dociepleń wewnętrznych**

Sytuacja będzie wyglądała inaczej jeśli do wypełnienia stelaży zamiast materiału włóknistego jak wełna mineralna zastosuje się materiał o zamkniętej strukturze np.: piany. Wypełnienie wcześniej przygotowanego stelażu może odbyć się w sposób dokładny, ponieważ pęczniący materiał zwykle szczelnie wypełnia daną mu przestrzeń. Dla uniknięcia jednak wszelkich niedociągnięć element ocieplany powinien być dokładnie sprawdzony, a wszystkie puste przestrzenia muszą być dodatkowo wypełnione. Powstały nadmiar piany, który utrudnia

przykręcenie płyt wykończeniowych, musi być usunięty – ścięty/wyrównany. Umożliwia to wykonanie wykończenia wnętrza przy użyciu np.: płyt gipsowo-kartonowych.

W metodzie tej nie stosuje się paroizolacji, dlatego niezwykle ważne jest dobranie odpowiedniego materiału zamkniętokomorowego (nie wszystkie piany do natrysków się tym charakteryzują). Jest to bardzo istotne w sytuacji, gdzie któryś element ściany jest drewniany i ewentualne wykroplenie się pary wodnej może spowodować korozję biologiczną.

#### **4.1.5. Docieplenia wewnętrzne z użyciem lekkich materiałów porowatych o otwartej strukturze (betony komórkowe i płyty klimatyczne)**

Innym sposobem ocieplania ścian jest zastosowanie bardzo porowatego materiału o otwartej strukturze np.: bardzo lekkie betony komórkowe. Jak pisano wcześniej współczynnik oporu dyfuzyjnego tych materiałów jest bardzo niski – para wodna swobodnie wnika w materiał i na styku z materiałem konstrukcyjnym może dochodzić do zjawiska kondensacji wglębnej. Wilgoć jest rozprowadzana równomiernie w strukturze materiału. Stosowanie tego typu materiałów daje możliwość wykorzystania jednej z jego cech (pokrywania się krzywej sorpcji i desorpcji) co oznacza, że materiał poddany wielokrotnym cyklom wykroplenia i wysuszenia nie traci swoich właściwości. Metoda ta powinna być jednak stosowana tylko po dokładnym sprawdzeniu zjawiska kondensacji międzywarstwowej i pełnej analizie czy proces suszenia będzie w okresach cieplejszych na tyle intensywny, żeby uniknąć tzw. spirali kondensacyjnej” czyli narastającej w latach kondensacji.

Swobodna cyrkulacja pary wodnej w obrębie powierzchni i materiału izolacyjnego musi być również zapewniona przez zastosowanie wykończenia paroprzepuszczalnego, żeby nie utrudniać naturalnych procesów migracji pary.

Metoda ta nie powinna być stosowana w przypadku przegród drewnianych lub szkieletowych gdyż w wyniku okresowego zawilgocenia przegród może dojść do korozji biologicznej. Należy też, jak w innych metodach dociepleń wewnętrznych, przeanalizować i tak zaprojektować detale połączeń elementów konstrukcyjnych (węzłów), aby materiał izolacyjny, tam gdzie to możliwe był wywijany na sąsiadujące przegrody stropowe czy obrzeża okienne.

#### **4.1.6. Docieplenie wewnętrzne z użyciem materiałów zamkniętokomorowych**

Docieplenie od strony wewnętrznej może również być wykonane z użyciem płyt z materiału o zamkniętych porach jak np.: szkło spienione. Materiał taki ze względu na duży współczynnik oporu dyfuzyjnego nie przepuszcza pary do wnętrza przegrody. Nie wymaga, więc dodatkowego stosowania materiału paroizolacyjnego. Zwiększenie szczelności połączeń poszczególnych płyt można uzyskać przez zastosowanie płyt fazowanych. Należy jednak pamiętać, że taki sposób izolacji nie sprawdzi się we wnętrzu, gdzie na ścianie będzie konieczne zawieszenie różnych elementów. Taka sytuacja wymaga wzmocnienia np.: dodatkowym stelażem pod płyty wykończeniowe, mocowanym do przegród prostopadłych.

## 4.2. Gradacja kosztów

Całkowite koszty inwestycyjne robót termomodernizacyjnych zależą od wielu czynników takich jak:

- typ technologii ocieplenia przegród zewnętrznych,
- konieczność wykonania dodatkowych robót remontowych w zakresie elementów konstrukcji budowlanych. Na przykład, aby ocieplić dach konieczne będzie wzmocnienie jego konstrukcji, lub aby poprawić bierne pozyskiwanie energii słonecznej trzeba będzie dobudować ogród zimowy,
- zróżnicowane koszty robocizny na terenie, na którym prowadzone są prace (różnice między poszczególnymi regionami Polski mogą wynosić nawet 40%),
- wysokość budynku (konieczność zastosowania rusztowań określonego typu),
- stan techniczny przegród zewnętrznych np.: zawilgocone, zagrzybione zmurszałe ściany wymagają dodatkowych nakładów na ich osuszenie, odgrzybienie lub wymianę elementów konstrukcji, itp..

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione czynniki w zakresie przegród zewnętrznych najkosztowniejsza jest wymiana okien, szczególnie gdy elewacja budynku jest objęta opieką konserwatora zabytków. Jeśli konserwator pozwala na wymianę zniszczonych okien (w przypadku, kiedy stan okien uniemożliwia ich odnowienie), należy odtworzyć ich kształt i wygląd historyczny, spełniając jednocześnie obowiązujące obecnie wymagania dotyczące współczynnika przenikania ciepła dla przegród przezroczystych. Rekomendowane jest jednak dodatkowe oszklenie pakietem zespolonym po odpowiednim wzmocnieniu ramiaków.

Duże koszty poniesiemy również ocieplając ściany od zewnątrz metoda ETICS lub metodą suchą. Koszty ocieplenia w systemie ETICS opartym o wełnę mineralną są około 25% wyższe, niż te gdzie materiałem izolacyjnym jest styropian. Ocieplenie wełną mineralną jest uzasadnione w przypadku układania na ścianach z materiałów o dużej chłonności wilgoci (głównie z betonu komórkowego) oraz na murach ceglanych lub gdy wymaga tego kształt obiektu. Wysoka paroprzepuszczalność wełny pozwala na odparowanie wilgoci na zewnątrz. Istotny wpływ na koszt materiałów ma wybór rodzaju wełny – tzw. lamelowa jest znacznie tańsza, ale nieco gorszej izolacyjności cieplnej.

Koszty metody lekkiej suchej są silnie zależne od materiału zastosowanego na wykończenie warstwy elewacyjnej. Całkowite koszty zastosowania metody lekkiej suchej z elewacją z tworzyw sztucznych są porównywalne do kosztów ETICS. Zastosowanie okładzin drewnianych zwiększa koszty tej metody dociepleniowej nawet o 50%.

Generalnie koszty ocieplenia ścian od wewnątrz są niższe od kosztów ocieplenia, szczególnie skomplikowanych elewacji zewnętrznych. Ale niestety do kosztów ocieplenia od wewnątrz należy doliczyć straty na powierzchni użytkowej pomieszczeń np.: jeśli ścianę o długości 5 m ocieplimy warstwami o łącznej grubości 20 cm to stracimy jeden m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej pomieszczenia. Ocieplenie od wewnątrz w zasadzie wymaga wyprowadzenia się na czas remontu użytkowników budynku. Czasami zwiększając grubość przegrody od wewnętrznej strony musimy przenieść instalację grzewczą co też generuje dodatkowe koszty.

Natomiast koszty ocieplenia elementów poziomych i skośnych (stropodach, dachu nad ogrzewanym poddaszem, strop nad piwnicą) są na podobnym względem siebie poziomie, a standardowe jednostkowe koszty tych ociepleń są o 50% niższe od jednostkowych kosztów ocieplenia ścian od zewnątrz.

W przypadku ocieplenia dachu lub stropodachu najniższe koszty poniesiemy, gdy mamy do czynienia z nieużytkowym poddaszem. Wówczas wykonuje się ocieplenie stropu nad najwyższą użytkową kondygnacją. Możemy wtedy ułożyć na tym stropie płyty ze styropianu lub wełny mineralnej ewentualnie różnego rodzaju granulaty. Koszty ułożenia warstwy ocieplenia z granulatu będą o nawet kilkadziesiąt procent wyższe niż koszty ocieplenia przy zastosowaniu mat/płyt z wełny mineralnej lub styropianu. Czasami stosuje się też natrysk z różnego rodzaju pian, ale należy pamiętać, że taka izolacja jest krucha i może ulec zniszczeniu pod wpływem ciężaru człowieka, gdyby na nieużytkowym poddaszu wykonywano w przyszłości jakieś prace. Koszty tej metody są pomiędzy kosztami metod ocieplenia opartych o granulaty, a kosztami metod opartych o maty z wełny mineralnej. W przypadku ocieplenia stropodachu wentylowanego najczęściej stosuje się granulaty z wełny mineralnej lub celulozy.

Istotny wpływ na koszty ocieplenia przegród zewnętrznych mają koszty zakupu materiałów izolacyjnych. Najtańsze są te najpopularniejsze materiały czyli styropian i wełna mineralna, najdroższe te innowacyjne czyli izolacje próżniowe i maty aerożelowe. Mata z aerożelu jest nawet trzykrotnie droższa od maty z wełny mineralnej pozwalającej na uzyskanie tej samej izolacyjności cieplnej przegrody, ale grubość izolacji z wełny mineralnej jest wtedy prawie pięciokrotnie większa niż grubość maty aerożelowej.

Docieplenie przegród zewnętrznych to nie jedyny sposób na skuteczne zablokowanie ucieczki ciepłego z budynku i zminimalizowanie kosztów ogrzewania. Czasami jedynym możliwym zabiegiem termomodernizacyjnym w budynku zabytkowym jest modernizacja instalacji centralnego ogrzewania oraz instalacji wytwarzania i dystrybucji ciepłej wody użytkowej lub modernizacja systemu wentylacji. Koszt modernizacji systemu grzewczego w przeliczeniu na m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej jest porównywany do kosztu ocieplenia stropodachu. Natomiast modernizacja systemu wentylacyjnego w przypadku zamiany wentylacji grawitacyjnej na wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła to minimum 200 zł za m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej budynku. Dlatego w budynkach zabytkowych należy rozważyć możliwość zastosowania wentylacji hybrydowej. Najtańsza jest modernizacja systemu ciepłej wody użytkowej. Poza perlatorami, które mają najkrótszy okres zwrotu nakładów szczególnie warto zainwestować w izolację rur z ciepłą wodą, kiedy prowadzone są one przez nieogrzewane pomieszczenia. Warto również rozważyć wymianę źródła ciepła - tu oprócz efektów ekonomicznych zazwyczaj uzyskujemy efekty ekologiczne w postaci zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza.

Dotychczas mówiąc o kosztach mieliśmy na myśli koszty inwestycyjne przedsięwzięć termomodernizacyjnych. Tymczasem w przypadku podejmowania decyzji inwestycyjnych w aspekcie wzrostu efektywności energetycznej budynków kluczowego znaczenie nabierają koszty eksploatacyjne. **Czasami niewielki wzrost kosztów inwestycyjnych spowoduje**



**znaczne obniżenie kosztów eksploatacyjnych.** Warto stosować do wyboru konkretnych rozwiązań technicznych analizę kosztów w cyklu życia budynku (LCC). Główna różnica pomiędzy tradycyjnym rachunkiem inwestycyjnym i rachunkiem LCC polega na rozszerzeniu perspektywy cyklu życia w LCC, co oznacza, że obejmuje on nie tylko koszty inwestycyjne, ale także koszty operacyjne podczas szacowanego cyklu życia budynku. Aby wybrać optymalny wariant termomodernizacji budynku w danych warunkach ekonomicznych należy policzyć dla każdego wariantu inwestycyjnego sumę kosztów inwestycyjnych i zdyskontowanych kosztów eksploatacyjnych w okresie np.: 20 lat i wybrać ten wariant, który ma najniższą wartość tej sumy kosztów.

### 4.3. Uproszczone zestawienie metod dociepleń

W świetle przedstawionych wcześniej informacji dotyczących podstaw fizycznych związanych z procesem ruchu ciepła i wilgoci, cech charakterystycznych materiałów izolacyjnych oraz sposobów ocieplenia elementów budynku, przystępując do procesu planowania i projektowania ocieplenia przegród w **budynkach zabytkowych należy indywidualnie przeanalizować, wykonując konieczne obliczenia sprawdzające, każdy przypadek rozważając jaki sposób ocieplenia jest możliwy.** Do wstępnej selekcji metody, która może być zastosowana w konkretnym przypadku, można posłużyć się Tabelą 1.

*Tabela 1. Możliwość zastosowania poszczególnych metod dociepleń w zależności od rodzaju ściany.*

konstrukcja ścian	Sposób docieplenia				
	ETCIS	sucha od strony zewnętrznej	sucha od strony wewnętrznej	zamknięto-komórkowa	lekka porowata
murowana	4.1.1.	4.1.2.	4.1.3.	4.1.4./4.1.6.	4.1.5.
drewniana	4.1.1.	4.1.2.	4.1.3.	4.1.4./4.1.6.	4.1.5.
szkieletowa	4.1.1.	4.1.2.	4.1.3.	4.1.4./4.1.6.	4.1.5.

gdzie:

	rozwiązanie zwykle zalecane
	rozwiązanie dopuszczalne pod pewnymi warunkami
	rozwiązanie niedopuszczalne

## 5. Problemy związane z termomodernizacją zabytków

Termomodernizacja obiektów zabytkowych jest zagadnieniem złożonym i nie można ograniczać jej do docieplania przegród zewnętrznych.

### 5.1. Wentylacja

Proces ocieplania budynku zabytkowego powinien być zawsze poprzedzony oceną funkcjonowania systemu wentylacji. W istniejących, nieocieplonych budynkach w większości przypadków wykorzystuje się wentylację grawitacyjną. Świeże powietrze przedostaje się do środka zazwyczaj przez stare nieszczelne okna i jest usuwane przez kanały wywiewne. Pomimo, że przegrody są nieocieplone rzadko dochodzi do rozwoju pleśni lub kondensacji

powierzchniowej, z uwagi na dużą intensywność wentylacji i możliwość akumulacji wilgoci w przegrodach. Sytuacja ta może się zmienić w wyniku modernizacji istniejącego budynku. Niekorzystny wpływ na działanie systemu wentylacji oraz parametry środowiska wewnętrznego może mieć ocieplenie budynku oraz wymiana stolarki okiennej. Proces ocieplenia przegród zewnętrznych, zarówno od zewnątrz jak i od wewnątrz, prowadzi do podwyższenia ich szczelności na przenikanie powietrza. Większa szczelność to mniejsza infiltracja powietrza zewnętrznego i eksfiltracja powietrza wewnętrznego. W przypadku źle działającego systemu wentylacji konsekwencją może być wzrost wilgotności względnej powietrza wewnętrznego, stężenia CO<sub>2</sub> oraz innych czynników chorobotwórczych. Wykonanie podczas ocieplania od wewnątrz paroszczelnej izolacji ogranicza dodatkowo możliwości akumulowania wilgoci w przegrodach. Częstym elementem modernizacji budynków jest wymiana stolarki okiennej. Nowe szczelne okna mogą powodować ograniczenie intensywności wymiany powietrza – brak dopływu świeżego powietrza zewnętrznego. W takiej sytuacji wentylacja grawitacyjna w zasadzie przestaje działać, czego konsekwencją może być występowanie dużej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego (sięgającej nawet ponad 80%). Na skutek tak wysokiej wilgotności zachodzi bardzo duże ryzyko powstania powierzchniowej (np. parowanie szyb w oknach) oraz międzywarstwowej kondensacji pary wodnej. Dotyczy to w szczególności przegród ocieplonych od wewnątrz, gdzie warstwa konstrukcyjna znajduje się w strefie zimnej. Konsekwencją jest rozwój pleśni, co niekorzystnie wpływa na komfort i bezpieczeństwo mieszkańców lub użytkowników budynku. Objawem złej pracy systemu wentylacyjnego może być: zmęczenie, podrażnione błony śluzowe, choroby układu oddechowego, czy częste bóle głowy.

Przed przystąpieniem do modernizacji budynku zabytkowego, obejmującej ocieplenie przegród zewnętrznych lub wymianę stolarki okiennej, powinno wykonać się ocenę funkcjonowania systemu wentylacji. Podstawą do oceną są normy i przepisy prawne [1, 6, 7, 8].

Zakres oceny powinien obejmować:

- Analizę wymagań dotyczących parametrów powietrza wewnętrznego.
- Analizę wymagań związanych z intensywnością wentylacji dla poszczególnych pomieszczeń (wymagane strumienie powietrza wentylacyjnego).
- Identyfikację i ocenę stanu istniejącego systemu wentylacji.
- Pomiar i rejestracja wybranych parametrów powietrza w pomieszczeniach i punktach charakterystycznych systemu wentylacji.
- Szacunkowe określenie wymiany powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniach.
- Analizę wyników i porównanie z wartościami wymaganymi i/lub zalecanymi dla danego typu budynku.
- Sprawdzenie ryzyka rozwoju pleśni w pomieszczeniach oraz kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej w przegrodach.
- Sformułowanie zaleceń dotyczących modernizacji/zmiany systemu wentylacji lub innych elementów mających wpływ na jej działanie.

W przypadku nieprawidłowo działającej wentylacji grawitacyjnej istnieje możliwość usprawnienia jej na różne sposoby. Do najprostszych rozwiązań można zaliczyć:

- Zwiększenie efektywności istniejącej wentylacji grawitacyjnej, dzięki np. montażowi odpowiedniej liczby nawiewników okiennych lub nawietrzaków ściennych, udrożnieniu istniejących kanałów wentylacyjnych, wykonaniu kratki w drzwiach do łazienek, WC.
- Zastosowanie wentylacji hybrydowej.
- Wprowadzenie mechanicznej wentylacji wywiewnej.
- Wprowadzenie mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła.

Zastosowanie wentylacji mechanicznej może wiązać się z koniecznością wykonania nowych kanałów wentylacyjnych w już istniejącym budynku, ponieważ mają one wyższe wymagania dotyczące szczelności. Wentylacja mechaniczna pracuje również przy większej różnicy ciśnień niż naturalna co może powodować „wianie z nawiewników”. Zastosowanie wentylacji mechanicznej wiąże się również z dodatkowym zużyciem energii przez wentylatory i ryzykiem wystąpienia hałasów.

Skutecznie działająca wentylacja przyczynia się do ograniczenia ryzyka kondensacji pary wodnej i rozwoju pleśni. Jeżeli w pomieszczeniu panuje 50% wilgotności względnej i temperatura 20°C, temperatura punktu rosy wynosi 9,3°C a ryzyko rozwoju pleśni zaczyna się od temperatury 12,6°C. Wzrost wilgotności do 70% powoduje, że temperatura punktu rosy wzrasta do 14,4°C a ryzyko rozwoju pleśni zaczyna się od 17,9°C. Obniżenie wilgotności do 30% sprawia, że para zacznie się wykraplać dopiero od 4,1°C, a ryzyko rozwoju pleśni zaczyna się poniżej 7,3°C. Bardzo ważne jest tu zwrócenie uwagi, że podane temperatury są wartościami przybliżonymi dla danych warunków w pomieszczeniu i na samej przegrodzie. Oznacza to, między innymi, zróżnicowanie temperatur na powierzchni wewnętrznej tej samej przegrody zewnętrznej (inna temperatura na ścianie w jej środkowej części, inna w narożnikach tzw. „zimne kąty”- te miejsca są bardziej zagrożone wystąpieniem kondensacji powierzchniowej oraz rozwojem grzybów pleśniowych).

Uzasadnione jest uzyskanie szczelności przegrody na poziomie  $q_{50} \leq 0,6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  - parametr określający ile powietrza w ciągu godziny ucieka przez 1 m<sup>2</sup> powierzchni obudowy budynku przy różnicy ciśnień pomiędzy środowiskiem wewnętrznym a zewnętrznym wynoszącej 50Pa. Takie wymaganie odpowiada w przybliżeniu poziomowi szczelności ścian zewnętrznych i dachów używanych w nowych budynkach energooszczędnych. Jest to bardzo rygorystyczny wymóg, ale może być spełniony również w istniejących budynkach. Warstwa paroszczelna musi być jednak zaplanowana i wykonana starannie, a jakość wykonania sprawdzona na placu budowy, np. za pomocą testu szczelności.

## **5.2. Osuszanie, odsalanie, roboty wykończeniowe**

Bardzo często budynki zabytkowe są pozbawione zabezpieczeń wodochronnych, w dzisiejszym rozumieniu tego słowa. Jednocześnie zmieniają się warunki pracy obiektów takie

jak zmiany terenu wokół np.: jego poziom, czy wykończenie. Czasem następuje zmiana funkcji wnętrza wymuszana przez użytkowników. Może się to wszystko wiązać z eskalującym problemem zawilgocenia ścian przyziemi. Zawilgocenie wpływa negatywnie nie tylko na estetykę wnętrz i fasad, ale przede wszystkim na mikroklimat i parametry zarówno wytrzymałościowe jak i cieplne, zwiększając straty ciepła z budynku.

Źródeł zawilgocenia może być wiele [9] i istotą poprawnego rozwiązania problemu jest dogłębne ich rozpoznanie dla konkretnego obiektu. Dokładna diagnoza jest niezbędna do skutecznego rozwiązania problemu zawilgocenia. Dla wypracowania skutecznego rozwiązania konieczne jest, już od samego początku procesu decyzyjnego, połączenie wiedzy konserwatorskiej i inżynierskiej [14].

### 5.3. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe

Przystępując do procesu termomodernizacji obiektów budowlanych należy wykonać pełną analizę zagadnień ciepłno-wilgotnościowych. Ich zakres powinien obejmować między innymi:

- obliczenia ciepłno-wilgotnościowe poszczególnych przegród
- obliczenia węzłów połączeń konstrukcyjnych (mostki termiczne)
- obliczenia zapotrzebowania na ciepło (wskaźniki zapotrzebowania energii użytkowej, końcowej i nieodnawialnej energii pierwotnej)

Obliczenia te należy wykonać zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa i w oparciu o odpowiednie normy i literaturę fachową [m. in. 10, 11, 12, 13].

**Należy jednak pamiętać, że sytuacja każdego obiektu jest inna i trzeba podejść do niego indywidualnie zwracając uwagę nie tylko na koszty inwestycyjne, ale przede wszystkim na charakter obiektu oraz możliwy do uzyskania komfort użytkowania oraz znacznie zmniejszone koszty eksploatacyjne i środowiskowe.**

## 6. Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017r. zmieniającymi rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wraz z późniejszymi zmianami.
- [2] Mielnicki S.: Ustroje budowlane, Katowice, 1938
- [3] Czaplński K.: Dawne wyroby ze stopów żelaza, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2009
- [4] Wójcik R.: Docieplanie budynków od wewnątrz, Grupa Medium, Warszawa 2017
- [5] Kaliszuk-Wietecha A., Węglarz A.: Nowoczesne budynki energoefektywne, Wydawnictwo Polcen, Warszawa 2019

- [6] PN-83/B-03430 „Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania”. W dniu 8 lutego 2000 uchwalono zmianę do tej normy [7] PN-83/B-03430/Az3:2000. Norma wycofana bez podania normy zastępującej jednak daje powszechnie używana.
- [8] PN-EN 15251:2012 – „Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę”.
- [9] A. Kaliszuk-Wietecha, Budownictwo zrównoważone Wybrane zagadnienia fizyki Budowli PWN 2017
- [10] PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania”
- [11] PN-EN ISO 13788 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa – Metody obliczania”
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. 18 marca 2015 r. Poz. 376).
- [13] Praca zbiorowa pod redakcją dr inż. Szymona Firląga: Kompleksowa termomodernizacja budynków jednorodzinnych Fundacja Zielona Energia, Warszawa 2019
- [14] B.J. Rouba Zawilgocenie - problem opiekuna kościoła. Materiał niepublikowany