

Ściany w budynkach biurowych



Jerzy Żurawski

Poprawa efektywności ścian może być realizowana za pomocą grubszych izolacji termicznych o standardowych parametrach izolacyjnych lub za pomocą materiałów o lepszych współczynnikach przewodzenia ciepła. W opracowaniu przeanalizowano zagadnienia ekonomiczne i techniczne stosowania pianek rezolowych na elewacjach w systemie ETICS oraz na ścian wentylowanych.



**Dolnośląska Agencja
Energii i Środowiska**

Wrocław ul. Pełczyńska 11

e-mail: cieplej@cieplej.pl
www.cieplej.pl

2014-07-01

SPIS TREŚCI

1. Projektowanie budynków biurowych Z wykorzystaniem nowych materiałów termoizolacyjnych	2
1.1 Budynki biurowe w świetle znowelizowanych wymagań prawnych.	2
1.2 Spełnienie warunków w zakresie izolacji termicznej ścian.....	4
2. Ściany zewnętrzne w systemie ETICS.....	5
2.1 Spełnienie wymagań na rok 2017 w systemie ETICS	6
2.2 Spełnienie Wymagań na rok 2021 (2019).....	9
3. Ściany zewnętrzne wentylowane	12
3.1 Mostki punktowe w ścianach wentylowanych	13
3.2 Obliczenie U ściany wentylowanej dla wymagań obowiązujących w 2017	15
3.3 Obliczenie U ściany wentylowanej dla wymagań z 2021	18
4. Podsumowanie	20
5. Literatura:.....	21

1. PROJEKTOWANIE BUDYNKÓW BIUROWYCH Z WYKORZYSTANIEM NOWYCH MATERIAŁÓW TERMOIZOLACYJNYCH

Państwa członkowskie EU wprowadzają coraz to ostrzejsze wymagania prawne w zakresie poprawy efektywności energetycznej każdej dziedziny życia. Od 2021 r. wszystkie nowe budynki będą charakteryzować się niemal zerowym zużyciem energii. Nowe budynki samorządowe powinny spełniać ten warunek już od 2019 r. Zgodnie z dyrektywą 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [1], kraje członkowskie opracują własną definicję budynków o niemal zerowym zużyciu energii. Budynek o niemal zerowym zużyciu energii oznacza budynek o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej, czyli o niskim a nawet niemal zerowym zużyciu energii. Energia ta powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu ze źródeł odnawialnych, wytwarzana na miejscu lub w pobliżu budynku. W znowelizowanych Warunkach technicznych (WT2013) [2] określone zostały wymagania w zakresie dopuszczalnego prawem poziomu zużycia energii dla budynków mieszkalnych, użyteczności publicznej i służby zdrowia. Stopniowe zaostrzanie wymagań prawnych spowoduje zwiększanie grubości izolacji termicznej przegród lub stosowanie materiałów o lepszych parametrach izolacyjnych. Działa te tak czy inaczej spowodują wzrost kosztów budowy. W przypadku budynków biurowych wznoszonych w centrach miejskich, gdzie działki budowlane są kosztowne, a dostępne powierzchnie ograniczone. Pojawia się pytanie - czy jest uzasadnione ekonomicznie wykorzystywanie materiałów o korzystniejszych parametrach izolacyjnych takich jak np. pianki rezolowe, których parametry izolacyjne są nawet dwukrotnie lepsze od tradycyjnych materiałów termoizolacyjnych?

1.1 BUDYNKI BIUROWE W ŚWIELE ZNOWELIZOWANYCH WYMAGAŃ PRAWNYCH.

Aby określić wymagania prawne stawiane budynkom biurowym najpierw należy odpowiedzieć na pytanie: jaka jest definicja budynków biurowych?

W Warunkach technicznych [2] określono definicję budynków użyteczności, która oznacza budynki przeznaczone na potrzeby administracji publicznej, wymiaru sprawiedliwości, kultury, kultu religijnego, oświaty, szkolnictwa wyższego, nauki, wychowania, opieki zdrowotnej, społecznej lub socjalnej, obsługi bankowej, handlu, gastronomii, usług, w tym usług pocztowych lub telekomunikacyjnych, turystyki, sportu, obsługi pasażerów w transporcie kolejowym, drogowym, lotniczym, morskim lub wodnym śródlądowym, oraz inny budynek przeznaczony do wykonywania podobnych funkcji. **Za budynki użyteczności publicznej uznaje się także budynki biurowe lub socjalne.**

W lipcu 2013 roku opublikowano nowe wymagania w zakresie dopuszczalnych wartości różnych parametrów mających wpływ na energochłonność budynków. W znowelizowanych w 2013 roku Warunkach technicznych [2] określone zostały wymagania „szczegółowe” oraz wymagania „ogólne”. Oba warunki muszą być spełnione. Zgodnie z § 328 pkt 1 [2] budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również oświetlenia wbudowanego, powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienie następujących wymagań minimalnych. Jak już wspomniano, wymagania określone zostały w dwóch grupach:

- **wymagania szczegółowe** obejmujące dla przegród budowlanych oraz wyposażenie techniczne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej

określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia oraz powierzchnia okien odpowiada wymaganiom określonym w pkt 2.1. załącznika nr 2 do rozporządzenia. Wymagania graniczne obejmują:

- o maksymalne dopuszczalne prawem parametry izolacyjne przegród budowlanych – U ,
- o szczelność budynku n_{50}
- o ochronę przed przegrzewaniem
- o minimalną grubość izolacji termicznej instalacji budynku

Dla budynków użyteczności publicznej oraz biurowych powyższe wymagania przedstawiają się w uproszczeniu następująco:

TABELA 1. WYMAGANIA SZCZEGÓŁOWE STAWIANE BUDYNKOM BIUROWYM W LATACH 2017-2021 ORAZ OD 2021 WG [2]

Grupa	Wymagania w zakresie U dla przegród obowiązujące do	U_{CMAX} [W/m ² K]	
		od 1.01.2017	od 1.01.2021
Ściany	U_{CMAX} dla ścian zewnętrznych przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,23	0,2
	U_{CMAX} dla ścian wewnętrznych $\Delta t \geq 8^\circ\text{C}$ oraz oddzielających pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy	1	1
	Ściany wewnętrzne oddzielające pom. ogrzewane od nieogrzewanych	0,3	0,3
Dachy i stropy strychów	U_{CMAX} dla dachów przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,18	0,15
	U_{CMAX} dla stropów nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi	0,25	0,25
Stolarka	Okna	1,1	0,9
	Okna połaciowe	1,3	1,1
	Drzwi zewnętrzne	1,5	1,3
	współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych $g \leq$	0,35	0,35
inne	Szczelność powietrzna budynku $n_{50} \leq$	1,5	1,5

Należy zwrócić uwagę, że w bardzo krótkim czasie wymagania w zakresie dopuszczalnych wartości współczynników przenikania ciepła ulegną stopniowemu obniżaniu. Dodatkowo dla pomieszczeń wewnętrznych pomiędzy strefą ogrzewaną a nieogrzewaną wprowadzono istotne ograniczenia U_{CMAX} , dla których będzie trzeba stosować izolację również wewnątrz budynku. Oprócz wymagań szczegółowych określono wymagania ogólne, które przedstawiają się następująco:

- **wymagania ogólne** w zakresie maksymalnych, dopuszczalnych prawem wartości wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej –EP [kWh/(m² · rok)] określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do

ogrzewania, wentylacji, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również do oświetlenia wbudowanego, obliczona według przepisów dotyczących metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków.

TABELA 2. DLA BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ (W TYM BUDYNKI BIUROWE) WARTOŚCI GRANICZNE NA EP WG [2].

Okres obowiązywania wymagań	EP = EP _{H+W} + ΔEP _C + ΔEP _L				
	EP _{H+W}	ΔEP _C	ΔEP _L	EP _{WT2017MIN}	EP _{WT2017MAX}
	kWh.m2rok	kWh.m2rok	kWh.m2rok	kWh.m2rok	kWh.m2rok
Budynki publiczne i biurowe od 1.01.2017 - 2020 (2018 - samorządowe)	60	25·A _C /A _f	50 lub 100	110	185
Budynki publiczne i biurowe od 1.01.2021 (2019 - samorządowe)	45	25·A _C /A _f	50	120	120

O tym czy budynek biurowy będzie spełniał wymagania prawne decydować będą dwie grupy wymagań: ogólne i szczegółowe, które muszą być spełnione równocześnie. Osiągnięcie założonych wartości granicznych może okazać się trudnym zadaniem.

1.2 SPEŁNIENIE WARUNKÓW W ZAKRESIE IZOLACJI TERMICZNEJ ŚCIAN.

Zgodnie z wymaganiami określonymi w WT2013, wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian, dachów, stropów i stropodachów dla wszystkich rodzajów budynków, uwzględniające poprawki ze względu na pustki powietrzne w warstwie izolacji, łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacyjną oraz opady na dach o odwróconym układzie warstw, obliczone zgodnie z Polskimi Normami: dotyczącymi obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła oraz przenoszenia ciepła przez grunt, nie mogą być większe niż wartości U_{CMAC} . Normy przywołane w [2] to: Polska Norma PN-EN ISO 6946:2008 [5] oraz PN-EN ISO 10211 [8]. Spełnienie wymagań stawianych przegrodom budowlanych będzie ulegać zmianom. Zaostrzenie wymagań nastąpi w 2017 i 2021 roku i może spowodować pewne trudności projektowe i wykonawcze, zwłaszcza dla ścian wentylowanych z okładziną kamienną, blachą lub podobnych. Grubość ścian może sięgnąć nawet ponad 50 cm, przy grubości samej izolacji ponad 30 cm, co może mieć wpływ na zwiększenie powierzchni działki pod zabudowę lub zmniejszenie powierzchni użytkowej pomieszczeń biurowych. Pojawiają się pytania:

- Czy zastosowanie materiałów o lepszych parametrach izolacyjnych ale droższych pozwoli zwiększyć powierzchnię na tyle, aby warto było rozważyć ten wariant?
- Czy zwiększona powierzchnia użytkowa pozwoli zwiększyć przychody z najmu na tyle że będzie to opłacalne dla właściciela i dla użytkowników?
- Czy zastosowanie materiału o najlepszych parametrach izolacyjnych będzie uzasadnione ekonomicznie w budynkach biurowych?
- Czy stosując rozwiązania standardowe można spełnić rosnące wymagania prawne?

Spróbujmy przeanalizować szczegółowo zagadnienie dla najczęściej wykonywanych konstrukcji:

- ścian wykonywanych w systemie ETICS
- ścian z okładziną włókno-cementową, kamienia lub blachy.

2. ŚCIANY ZEWNĘTRZNE W SYSTEMIE ETICS.

Ściany w budynkach biurowych wykonywane są najczęściej w systemie ETICS, jako dwuwarstwowe konstrukcje oparte o część nośną wykonaną:

- w budynkach niskich z gazobetonu, pustaka poryzowanego, ceramicznego
- dla budynków powyżej 4 kondygnacji z żelbetu, cegły silikatowej

Ściany te ocieplone włóknistym materiałem izolacyjnym lub styropianem. Materiał o najlepszych aktualnie parametrach izolacji termicznej do ocieplania w systemie ETICS to pianka rezolowa. Szczegóły systemu pokazano na rysunku 1.

RYСУNEK 1. BUDOWA TRADYCYJNEJ ŚCIANY OCIEPLONEJ METODĄ ETICS Z WYKORZYSTANIEM PIANKI REZOŁOWEJ.

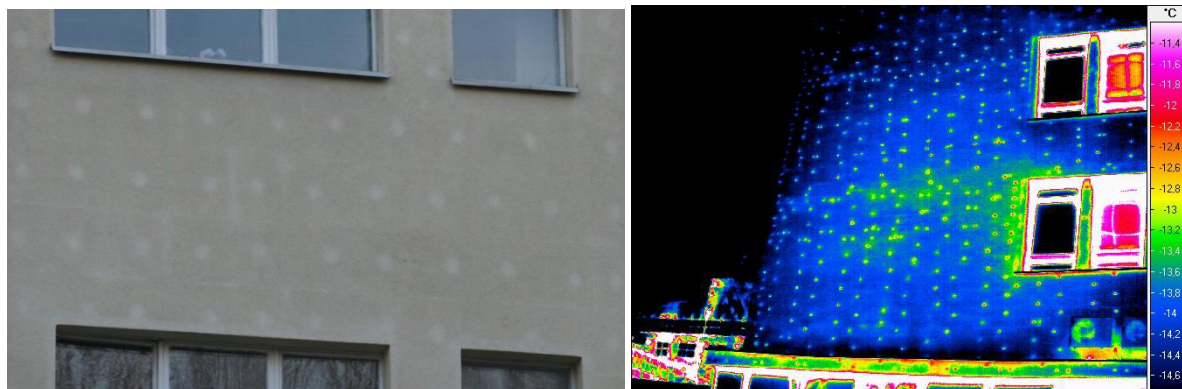


Konstrukcja ściany dwuwarstwowej jest zazwyczaj taka sama:

- część nośna ścian – żelbetowa, z cegły silikatowej, ceramicznej lub z różnego rodzaju pustaków,
- warstwy izolacyjnej klejonej i łączonej za pomocą łączników lub wyłącznie łączonej za pomocą specjalnych łączników.
- zewnętrznej warstwy zbrojącej zatopionej w kleju
- tynku zewnętrznego cienkowarstwowego.

Ze względu na izolacyjność termiczną przegrody ważną rolę w dwuwarstwowej konstrukcji ściany odgrywają:

- parametry materiału termoizolacyjnego: pianki, wełny, styropianu
- przewodność cieplna łączników mechanicznych stosowanych w metodzie ETICS.
- w niewielkim stopniu dziś o izolacyjności przegrody decyduje użyty materiał na część nośną przegrody.



ZDJĘCIE 1. PUNKTOWE MOSTKI CIEPLNE NA ŁĄCZNIKACH MECHANICZNYCH

W dalszej analizie pominięta zostanie poprawka na nieciągłość izolacji, gdyż czynnik ten jest zależny od jakości wykonawstwa i może wystąpić w każdym rodzaju ściany i materiału termoizolacyjnego.

Przy wyborze rozwiązań kierowano się dostępnymi na rynku standardowymi grubościami materiału termoizolacyjnego.

2.1 SPEŁNIENIE WYMAGAŃ NA ROK 2017 W SYSTEMIE ETICS

Spełnienie wymagań prawnych w roku 2017 związane będzie z projektowaniem ścian o $U \leq 0,23$ W/m²K. Ściany z żelbetu gr. 20 cm lub cegły silikatowej 24 cm z zastosowaniem tradycyjnych materiałów np. włóknistych materiałów izolacyjnych należy liczyć się z grubością przegrody w granicach około 40 cm. W zależności od rodzaju zastosowanego materiału izolacyjnego oraz systemu mocowania, grubość włóknistych materiałów izolacyjnych (WMI) wahać się będzie od 16 do 18 cm. Do analiz przyjęto dwie metody mocowania WMI: za pomocą kleju oraz łączników mechanicznych lub za pomocą łączników mechanicznych. Szczegóły wyników analiz zamieszczono w tabeli 3.

Grubość ściany przy zastosowaniu WMI o $\lambda_{W2} = 0,036$ W/mK stosuje się kołki ze stali nierdzewnej o $\lambda_{S1} = 15-17$ W/mK wynosić będzie 38 oraz przy WMI o $\lambda_{W1} = 0,042$ W/mK i przy stosowaniu kołków ze stali nierdzewnej - 40 cm.

Stosując piankę rezolową grubość izolacji wg wymagań obowiązujących w 2017 roku wyniesie 9 cm a całej przegrody tylko 31 cm. Przy ograniczonej powierzchni działki ścian ocieplone pianką rezolową pozwolą zwiększyć powierzchnię użytkową o 7 do 9 cm na metr bieżący ściany zewnętrznej. Ściany ocieplone różnymi materiałami termoizolacyjnymi charakteryzują się różnymi współczynnikami przenikania ciepła – U, które mogą mieć wpływ na zużycie energii. W związku z tym dla każdego U wykonano osobno obliczenia w których określono obliczeniowe wartości zużycia energii użytkowej - EU, energii końcowej - EK i nieodnawialnej energii pierwotnej -EP.

W tabeli 3 i 4 zamieszczono parametry przegród spełniające wymagania na 2017 rok. Lepsza izolacyjność termiczna ściany będzie miała wpływ również na zużycie energii w budynku.

TABELA 3. OBLICZENIA PARAMETRÓW IZOLACYJNYCH ŚCIAN: ŻELBETOWEJ I SILIKATOWEJ IZOLOWANYCH WŁÓKNISTYMI MATERIAŁAMI IZOLACYJNYMI LUB PIANKĄ REZOLOWĄ Z UWZGLĘDNIENIEM ŁĄCZNIKÓW MECHANICZNYCH ZE STALI NIERDZEWNEJ O $\lambda = 17 \text{ W/MK}$.

Część nośna ściany	Materiał izolacyjny	λ_{obl}	grubość izolacji	U_c	typ łącznika mechanicznego	średnia ilość łączników	ΔU	$U_c = U + \Delta U$	U_{cMAX} rok 2017	Grubość muru
		[W/mK]	[m]	[W/m ² K]		szt/m ²	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[m]
Żelbet 20 cm	WMI	0,042	0,18	0,217	ze stali nierdzewnej	6	0,011	0,228	0,23	0,40
	WMI	0,037	0,18	0,193	ze stali nierdzewnej	10	0,019	0,212		0,40
	pianka rezolowa	0,02	0,09	0,22	z tworzywa	6	0	0,22		0,31
Silikat 24 cm	WMI	0,042	0,18	0,212	ze stali nierdzewnej	6	0,01	0,222		0,42
	WMI	0,037	0,16	0,21	ze stali nierdzewnej	10	0,02	0,23		0,30
	pianka rezolowa	0,02	0,09	0,202	z tworzywa	6	0	0,202		0,35

TABELA 4. ANALIZA PARAMETRÓW IZOLACYJNYCH ŚCIAN ŻELBETOWEJ LUB SILIKATOWEJ OCIEPLONEJ WMI LUB PIANKĄ REZOLOWĄ W SYSTEMIE ETICS

Część nośna ściany	Materiał izolacyjny	λ_{obl}	grubość izolacji	typ łącznika mechanicznego	średnia ilość łączników	$U_c = U + \Delta U$	pogorszenie izolacji o	Grubość muru
		[W/mK]	[m]		szt/m ²	[W/m ² K]	[%]	[m]
Żelbet 20 cm	WMI	0,042	0,18	ze stali nierdzewnej	6	0,228	3,64%	0,40
	WMI	0,037	0,18	ze stali nierdzewnej	10	0,212	-3,64%	0,40
	pianka rezolowa	0,02	0,09	z tworzywa	5	0,22	0,00%	0,32
Silikat 24 cm	WMI	0,042	0,18	ze stali nierdzewnej	4	0,222	9,90%	0,44
	WMI	0,037	0,16	ze stali nierdzewnej	10	0,23	13,86%	0,42
	pianka rezolowa	0,02	0,09	z tworzywa	6	0,202	0,00%	0,36

Aby przeanalizować wpływ materiału izolacyjnego na powierzchnię biurową oraz zużycie energii w budynku biurowym pięciokondygnacyjnym przy zastosowaniu WMI oraz pianki rezolowej PR. Założenie jakie przyjęto w to:

- maksymalna dopuszczalna powierzchnia zabudowy 928,8 m²
- przegrody spełniają wymagania prawne w 2017 roku oraz 2021
- analizowany budynek pięciokondygnacyjny budynek, którego geometrię opisano w tabeli 5.

TABELA 5. GEOMETRIA BUDYNKU BIUROWEGO PIĘCOKONDYGNACYJNEGO

Materiał izolacyjny	grubość muru	grubość materiału termo.	Powierzchnia zabudowy - A_z	A_f - powierzchnia użytkowa	A_f / A_z	dodatkowa powierzchnia biurowa
	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]		[m ²]
WMI - $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	0,48	0,18	928,8	5406	5,82	0
WMI - $\lambda_{obl} = 0,036 \text{ W/mK}$	0,48	0,18	928,8	5406	5,82	0
PR - $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	0,39	0,09	928,8	5481,8	5,90	75,8

Przy zastosowaniu pianki rezolowej (PR) powierzchnia użytkowa będzie zwiększona o 75,8 m², co stanowi wzrost o około 1,4% powierzchni użytkowej uzyskanej przy stosowaniu WMI o $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 6.

TABELA 6. PARAMETRY IZOLACYJNE ORAZ KOSZTY ŚCIAN IZOLOWANYCH ZA POMOCĄ WŁÓKNISTYCH MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH - WMI I PIANKI REZOLOWEJ - PR W SYSTEMIE ETICS

Materiał izolacyjny	U ściany	A ściany	Ilość materiału termo.	Koszty izolacji termicznej	dodatkowe koszty inwestycji	Dodatkowe koszty na 1 m ² p.u.
	[W/m ² K]	[m ²]	[m ³]		[zł]	[zł/m ² p.u.]
WMI - $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	0,228	2508	451,44	131 294	0	0
WMI - $\lambda_{obl} = 0,036 \text{ W/mK}$	0,212	2508	451,44	254 361	123 068	23
PR - $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	0,207	2508	225,72	319 620	188 326	34

Przy zastosowaniu pianki rezolowej ściany charakteryzują współczynnikiem przenikania $U=0,207 \text{ W/m}^2\text{K}$, koszty budowy wzrosną o 188 326 zł co stanowi 34 zł/m² p.u. .

TABELA 7. KOSZTY EKSPLOATACYJNE ORAZ DODATKOWE PRZYCHODY ZE ZWIĘKSZONEJ POWIERZCHNI UŻYTKOWEJ.

Materiał izolacyjny	EU	EK	EP	łącznie koszty ogrzewania	oszczędności roczne kosztów ogrzewania	dodatkowe przychody ze zwiększonej p.b.	łącznie przychody
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	zł/rok	zł	zł	zł/rok
WMI – $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	22,97	27,38	30,11	44404,9	0,0	0	
WMI – $\lambda_{obl} = 0,036 \text{ W/mK}$	22,4	26,7	29,37	43302,1	1102,8	0	1102,8
PR - $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	21,7	25,86	28,45	42527,8	1877,1	54576	56453,1

Czas zwrotu poniesionych zwiększonych nakładów przy wykonaniu izolacji termicznej pianką rezolową nastąpi po okresie około SPBT = 3,34 lat, przy standardowym sezonie grzewczy i lokalizacji inwestycji w Warszawie oraz przy cenie wynajmu 60 zł/m² p.u. . Budowa budynków w strefach łagodniejszych nieznacznie wydłuży czas zwrotu do maksymalnie 4 lat.

Wybudowanie budynku w strefach chłodniejszych skróci czas zwrotu poniesionych nakładów do około 3 lat. Zastosowanie pianki rezolowej o bardzo dobrych parametrach izolacyjnych w budynkach biurowych jest uzasadnione ekonomicznie. Ponadto może zmienić się również zacienienie przegród przeźroczystych. Mniejsza grubość ścian pozwoli zmniejszyć koszty montażu okien na konsolach, co w budynkach biurowych o stosunkowo dużej powierzchni przeszklonej może mieć wpływ na koszty budowy.

2.2 SPEŁNIENIE WYMAGAŃ NA ROK 2021 (2019)

Całą procedurę obliczeniową powtórzymy w odniesieniu do wymagań prawnych (WT2013), które zaczną obowiązywać w 2021 roku. Spełnienie minimalnych wymagań prawnych w zakresie przegród zewnętrznych może się okazać niewystarczające. Jednak dla uproszczenia analizy przyjęto, że spełnienie minimalnych wymagań w zakresie współczynnika przenikania ciepła dla ścian pozwoli spełnić wymagania w zakresie EP dla całego budynku.

Aby spełnić wymagania w zakresie izolacji ścian z 2021 roku przy konstrukcji nośnej z żelbetu gr. 20 cm lub cegły silikatowej 24 cm, należy przyjąć grubość izolacji z włóknistych materiałów izolacyjnych - WMI o $\lambda = 0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$ wynoszącą 22 cm a przy użyciu WMI o $\lambda = 0,036 \text{ W/m}^2\text{K}$ 20 cm. Stosując piankę rezolową – PR, grubość izolacji cieplnej wyniesie tylko 10 cm. Przy ograniczonej powierzchni działki ścian ocieplone pianką rezolową pozwoli zwiększyć powierzchnie użytkową o 99 m² co stanowi 1,86 % powierzchni użytkowej budynku izolowanego WMI o $\lambda = 0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$.

TABELA 8. OBLICZENIA PARAMETRÓW IZOLACYJNYCH ŚCIAN ŻELBETOWEJ I SILIKATOWEJ IZOLOWANEJ WMI LUB PIAKĄ REZOLOWĄ - PR Z UWZGLĘDNIENIE ŁĄCZNIKÓW MECHANICZNYCH ZE STALI O LAMBDA = 17 W/MK.

Część nośna ściany	Materiał izolacyjny	λ_{obl}	grubość izolacji	U_c	typ łącznika mechanicznego	średnia ilość łączników	ΔU	$U_c = U + \Delta U$	U_{cMAX} rok 2021
		[W/mK]	[m]	[W/m ² K]		szt/m ²	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]
Żelbet 20 cm	WMI	0,042	0,22	0,18	ze stali nierdzewnej	6	0,009	0,189	0,2
	WMI	0,036	0,2	0,175	ze stali nierdzewnej	10	0,017	0,192	
	pianka rezolowa	0,02	0,1	0,184	z tworzywa	5	0	0,184	
Silikat 24 cm	WMI	0,042	0,21	0,176	ze stali nierdzewnej	6	0,009	0,185	0,2
	WMI	0,036	0,2	0,171	ze stali nierdzewnej	10	0,016	0,187	
	pianka rezolowa	0,02	0,1	0,184	z tworzywa	6	0	0,184	

TABELA 9. ANALIZA PRAETRÓW IZOLACYJNYCH ŚCIAN ŻELBETOWEJ LUB SILIKATOWEJ OCIEPLONEJ WMI LUB PIANKĄ REZOLOWĄ – PR W SYSTEMIE ETICS

Część nośna ściany	Materiał izolacyjny	λ_{obl}	grubość izolacji	typ łącznika mechanicznego	średnia ilość łączników	$U_c = U + \Delta U$	pogorszenie izolacji o
		[W/mK]	[m]		szt/m ²	[W/m ² K]	[%]
Żelbet 20 cm	WMI	0,042	0,22	ze stali nierdzewnej	6	0,189	2,72%
	WMI	0,036	0,2	ze stali nierdzewnej	10	0,192	4,35%
	pianka rezolowa	0,02	0,1	z tworzywa	5	0,184	0,00%
Silikat 24 cm	WMI	0,042	0,21	ze stali nierdzewnej	6	0,185	0,54%
	WMI	0,036	0,2	ze stali nierdzewnej	10	0,187	1,63%
	pianka rezolowa	0,02	0,1	z tworzywa	6	0,184	0,00%

TABELA 10. PARAMETRY IZOLACYJNE ORAZ KOSZTY ŚCIAN IZOLOWANYCH ZA POMOCĄ WMI I PIANKĄ REZOLOWĄ – PR W SYSTEMIE ETICS

Materiał izolacyjny	grubość muru	grubość materiału termo.	Powierzchnia zabudowy - A_z	A_f - powierzchnia użytkowa	V - kubatura	A_f / A_z	dodatkowa powierzchnia biurowa
	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m ³]		[m ²]
WMI $\lambda_{obl} = 0,042$ W/mK	0,52	0,22	928,8	5372,46	16218	5,78	0
WMI $\lambda_{obl} = 0,036$ W/mK	0,42	0,2	928,8	5389,2	16243,2	5,80	16,74
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02$ W/mK	0,32	0,1	928,8	5472,38	16521,5	5,89	99,92

TABELA 11. ANALIZA WZROSTU KOSZTÓW BUDOWY

Materiał izolacyjny	U ściany	A ściany	Ilość materiału termo.	Koszty inwestycji	dodatkowe koszty inwestycji	Dodatkowe koszty na 1 m2 p.u.
	[W/m2K]	[m2]	[m3]	[zł]	[zł]	[zł/m2 p.u.]
WMI $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	0,185	2508	551,76	160 470	0	0
WMI $\lambda_{obl} = 0,036 \text{ W/mK}$	0,187	2508	501,6	282 624	122 154	22,7
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	0,184	2508	250,8	349 114	188 643	34,5

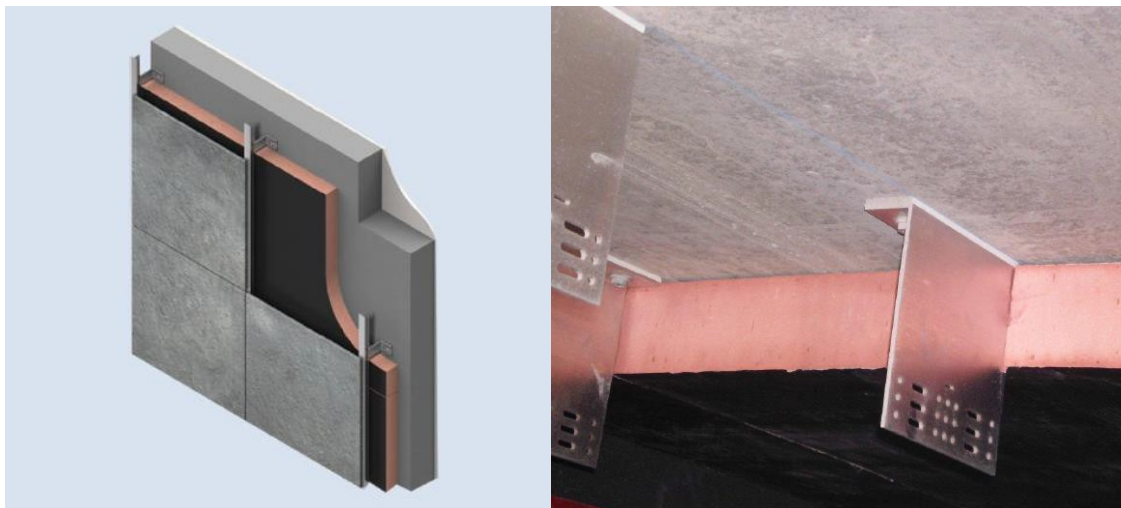
TABELA 12. KOSZTY EKSPLOATACYJNE ORAZ DODATKOWE PRZYCHODY ZE ZWIĘKSZONEJ POWIERZCHNI UŻYTKOWEJ.

Materiał izolacyjny	EU	EK	EP	łącznie koszty ogrzewania	oszczędności roczne kosztów ogrzewania	dodatkowe przychody ze zwiększonej p.u.	łącznie przychody
	kWh/m2a	kWh/m2a	kWh/m2a			zł	zł/rok
WMI $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	21,53	25,66	28,23	41357,2	0,0	0	
WMI $\lambda_{obl} = 0,036 \text{ W/mK}$	21,54	25,67	28,24	41502,2	-145,0	12052,8	11907,8
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	20,77	24,75	27,22	40632,4	724,8	71942,4	72667,2

Czas zwrotu poniesionych zwiększonych nakładów na wykonanie izolacji termicznej pianką rezolową zwróci się po okresie około $SPBT = 2,0$ lat przy koszcie wynajęcia powierzchni biurowej wynoszących 60 zł/m2. Stosowanie materiałów o bardzo dobrych parametrach izolacyjnych choć droższych inwestycyjnie o 34,5 zł/m2 p.u. jest opłacalne w sytuacji gdy występują ograniczenia powierzchni zabudowy.

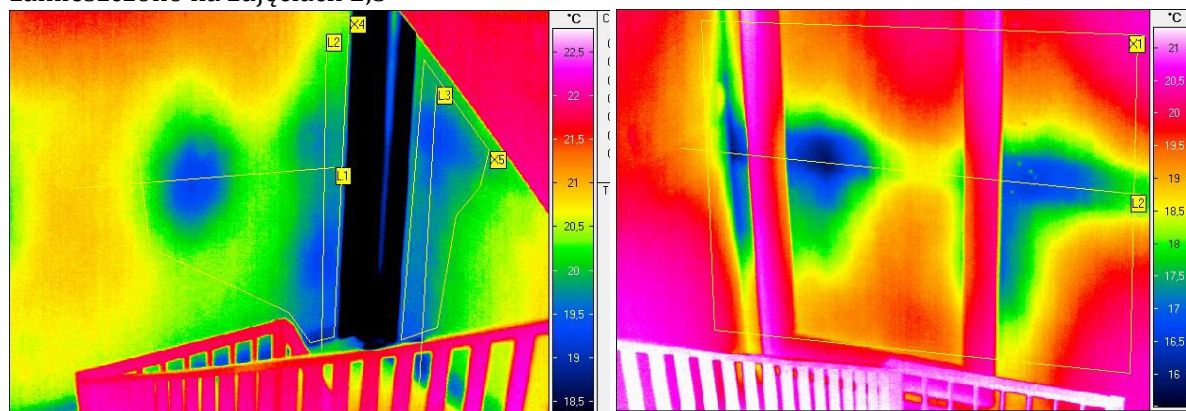
3. ŚCIANY ZEWNĘTRZNE WENTYLOWANE

Innym, bardzo często stosowanym systemem wykonania ścian zewnętrznych w budynkach biurowych są konstrukcje wentylowane z okładziną np. z blachy, kamienia lub płyt włóknisto-cementowych. Schemat ściany wentylowanej pokazano na rysunku 3. Tego typu przegrody zawierają mostki punktowe wynikające z konieczności stosowania konstrukcji podtrzymującej materiał izolacyjny oraz mostki punktowe konstrukcji wsporczej okładzin zewnętrznych. Do niedawna wpływ tego typu mostków był przez projektantów pomijalnym. Pomimo stosowania tego typu rozwiązań od przeszło 50 lat, zagadnienia mostków cieplnych występujących w tego typu ścianach do niedawna była pomijalna. Dzięki powszechniejszemu dostępowi do kamer termowizyjnych zaobserwowano i przeanalizowano zjawiska zwiększonego strumienia ciepła na łącznikach mechanicznych. Wpływ łączników zależy od rodzaju konstrukcji, zagadnień wytrzymałościowych oraz materiałowych. Jak się okazuje są to istotne osłabienia izolacji termicznej, mające duży wpływ na izolacyjność ścian zwłaszcza gdy trzeba spełnić wymagania które będą obowiązywać w 2017 i 2012 roku.



RYСУNEK 2. SCHEMAT FASADY WENTYLOWANEJ ORAZ ŁĄCZNIKÓW PODTRZYMUJĄCYCH WARSTWĘ OSŁONOWĄ.

Wyniki pomiarów termowizyjnych potwierdzające występowanie mostków cieplnych zamieszczono na zdjęciach 2,3



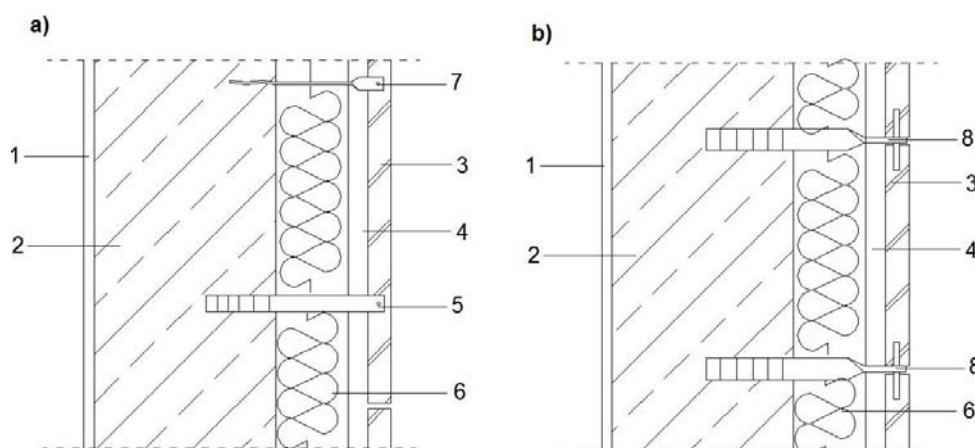
ZDJĘCIE 2. WIDOK TERMICZNY ŚCIAN WENTYLOWANEJ OD WEWNĄTRZ, CIEMNIEJSZE POLA WSKAZUJĄ MIEJSCA WYSTĘPOWANIA MOSTKÓW PUNKTOWYCH OD ŁĄCZNIKÓW MECHANICZNYCH.



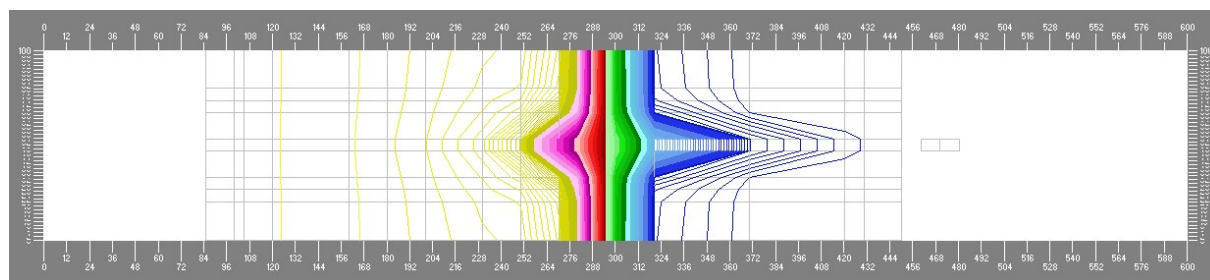
ZDJĘCIE 3. ZOBRAZOWANIE TERMICZNE ŚCIANY WENTYLOWANEJ Z ELEWACJĄ Z KAMIENIA. W MIEJSCACH ZNACZĄCO PODWYŻSZONYCH TEMPERATUR WYSTĘPUJĄ PUNKTOWE ŁĄCZNIKI STALOWE KONSTRUKCJI WSPORCZEJ.

3.1 MOSTKI PUNKTOWE W ŚCIANACH WENTYLOWANYCH

Płyty kamienne, włóknisto-cementowe oraz okładziny z blachy mogą być mocowane w różnych systemach. Techniki mocowania okładzin zewnętrznych mają wpływ na wielkość i intensywność mostków i termicznych a co za tym idzie i wpływ na izolacyjność ściany. Mogą być mocowane są do podłoża za pomocą elementów kotwiących wykonanych ze stali budowlanej lub nierdzewnej. Ze względu na rosnące wymagania w zakresie izolacyjności termicznej stal budowlana przestaje być stosowana. Aby zminimalizować wpływ mostków cieplnych stosuje się stal nierdzewna $\lambda=17-15 \text{ W/mK}$ z przekładkami termicznymi. Szykowana jest rewolucja w konstrukcjach ścian. Aktualnie testuje się łączniki ze specjalnych tworzyw sztucznych, które najprawdopodobniej wyeliminują lub znacznie zmniejszą wpływ punktowych mostków cieplnych na izolacyjność ściany. Współcześnie najpopularniejszą metodą montażu okładzin z kamienia naturalnego jest mocowanie płyt do podłoża konstrukcyjnego za pomocą kotwi z płaskowników ze stali nierdzewnej. Zasada montażu polega na wywierceniu w podłożu otworu i osadzeniu w nim kotwy na zaprawie cementowej, na których zawiesza się płyty okładziny. Każda płyta podpierana jest w 4 punktach rozmieszczonych na krawędziach pionowych lub poziomych płyt. Schematy mocowania elewacji z okładziną kamienną montowaną na kotwiach stalowych przedstawiono na rysunku 3.



RYСУNEK 3. SCHEMATY MOCOWANIA PŁYT KAMIENNYCH NA KOTWIACH STALOWYCH A) PŁYTY MOCOWANE NA KRAWĘDZIACH PIONOWYCH, B) PŁYTY MOCOWANE NA KRAWĘDZIACH POZIOMYCH. OZNACZENIA: 1- TYNK WEWNĘTRZNY, 2 - WARSTWA KONSTRUKCYJNA, 3 - OKŁADZINA KAMIENNA, 4 - PUSTKA POWIETRZNA, 5 - KOTEW NOŚNA MOCOWANA W FUDZE PIONOWEJ, 6 - TERMOIZOLACJA ŚCIANY, 7- KOTEW STABILIZUJĄCA, 8 - KOTEW NOŚNA MOCOWANA W FUDZE POZIOMEJ [17]



RYSUNEK 4. ROZKŁAD TEMPERATUR NA ŁĄCZNIKU ZE STALI NIERDZEWNEJ ZAKOTWIONYM W CZĘŚCI NOŚNEJ ŚCIANY.

Określenie wpływu mostków cieplnych konstrukcji wsporczej jest przedmiotem analiz naukowych, opracowań eksperckich oraz aprobat technicznych wydawanych. Na podstawie zdobytych doświadczeń można zauważyć, że trudno jest stworzyć katalogi punktowych mostków cieplnych. Wachlarz dostępnych rozwiązań jest ogromny, dodatkowo zależny do izolacyjności stosowanych materiałów oraz wpływu zagadnień wytrzymałościowych na izolacyjność termiczną przegrody. Dla prawidłowego oszacowania wpływu konstrukcji na parametry izolacyjne niezbędne jest określenie obciążenia od warstwy elewacyjnej, odległości od części konstrukcyjnej ściany warstwy elewacyjnej, od sposobu mocowania oraz zastosowanych materiałów. W [17] omówiono zagrożenia osłabieni izolacji termicznej ściany z okładziną kamienną. Korekta współczynnika przenikania ciepła obliczona metodą MES wyniosła $\Delta U = 0,033 \text{ W/m}^2\text{K}$. W [19] wykonano obliczenia wsporczej dla konstrukcji systemowej elewacji wykonywanych z okładzin włóknisto-cementowych izolowanych wełną o różnych parametrach λ . Wyniki zamieszczono w tabeli 13.

TABELA 13. WSPÓŁCZYNNIKI PRZENIKANIA CIEPŁA PRZEGRODY WENTYLOWANEJ Z KONSTRUKCJĄ IZOLOWANĄ WMI PODKŁADKAMI ORAZ BEZ PODKŁĄDEK PCV [19].

Ściana nośna	Rodzaj izolacji cieplnej	Grubość izolacji cieplnej, m	Współczynnik przenikania ciepła przegrody bez uwzględnienia punktowych mostków cieplnych i podkładki termoizolacyjnej, W/(m ² ·K)	Współczynnik przenikania ciepła przegrody z uwzględnieniem punktowych mostków cieplnych i bez uwzględnienia podkładki termoizolacyjnej, W/(m ² ·K)	Współczynnik przenikania ciepła przegrody z uwzględnieniem punktowych mostków cieplnych i podkładki termoizolacyjnej*, W/(m ² ·K)
1	2	3	4	5	6
Beton zbrojony: - grubość: 0,18 m, - λ=2,3 W/(mK)	WMI λ=0,030 W/(mK)	0,10	0,28	0,40	0,35
		0,12	0,24	0,37	0,32
		0,15	0,19	0,32	0,28
		0,18	0,16	0,29	0,25
		0,20	0,14	0,27	0,23
Cegła silikatowa: - grubość: 0,24 m, - λ=0,9 W/(mK)		0,10	0,27	0,37	0,33
		0,12	0,23	0,34	0,30
		0,15	0,18	0,30	0,26
		0,18	0,16	0,27	0,23
		0,20	0,14	0,25	0,22
Beton zbrojony: - grubość: 0,18 m, - λ=2,3 W/(mK)	WMI λ=0,031 W/(mK)	0,10	0,29	0,41	0,36
		0,12	0,24	0,38	0,33
		0,15	0,20	0,33	0,28

		0,18	0,17	0,30	0,25
Cegła silikatowa: - grubość: 0,24 m, - λ=0,9 W/(mK)		0,20	0,15	0,28	0,23
		0,10	0,27	0,37	0,33
		0,12	0,23	0,34	0,30
		0,15	0,19	0,30	0,27
		0,18	0,16	0,27	0,24
		0,20	0,15	0,26	0,22
Beton zbrojony: - grubość: 0,18 m, - λ=2,3 W/(mK)	WMI λ=0,038 W/(mK)	0,10	0,35	0,47	0,42
		0,12	0,29	0,43	0,38
		0,15	0,24	0,38	0,33
		0,18	0,20	0,34	0,29
0,20		0,18	0,32	0,27	
Cegła silikatowa: - grubość: 0,24 m, - λ=0,9 W/(mK)		0,10	0,33	0,42	0,38
		0,12	0,28	0,39	0,35
		0,15	0,23	0,34	0,30
		0,18	0,19	0,31	0,27
		0,20	0,18	0,29	0,25
* Podkładka termoizolacyjna z PCV o grubości 0,01 m i współczynniku λ=0,070 W/(mK)					

Dla konstrukcji bez podkładek termoizolacyjnych dodatek ze względu na mostki punktowe waha się w przedziale od 0,1 do 0,13 W/m²K, średnia wartość $\Delta U = 0,12$ W/m²K, a dla konstrukcji z przekładką dodatek ten waha się od 0,07 do 0,09 W/m²K, średnio $\Delta U = 0,08$ W/m²K. Dla ściany izolowanej pianką rezolową wykonano obliczenia wpływu mostków cieplnych na izolacyjność termiczną. Przy grubości izolacji termicznej 12 i 14 cm dodatek na łączniki punktowe wyniósł $\Delta U = 0,07$ -0,08 W/m²K. Do dalszych obliczeń przyjęto poprawkę $\Delta U = 0,07$ W/m²K dla wszystkich rodzajów izolacji termicznej.

3.2 OBLICZENIE U ŚCIANY WENTYLOWANEJ DLA WYMAGAŃ OBWIĄZUJĄCYCH W 2017

Do analiz przyjęto konstrukcję ściany składającą się z tynku gipsowego 1 cm, żelbetu 20 cm lub silikatu 24 cm, izolacji z WMI o $\lambda = 0,042$ W/m²K $\lambda = 0,036$ W/m²K lub pianki rezolowej o $\lambda = 0,02$ W/m²K pozwalającej spełnić wymagania prawne w zakresie izolacji termicznej w 2017 roku. W przypadku WMI przewidziano mocowanie płyt za pomocą 6 łączników stalowych ze stali nierdzewnej na 1 m² ściany oraz połączenia warstwy osłonowej z konstrukcją ścian za pomocą łączników ze stali nierdzewnej. Określenie izolacyjności i grubości ścian zamieszczono w tabeli poniżej.

TABELA 14. PARAMETRY IZOLACYJNE ŚCIAN IZOLOWANYCH WMI LUB PIANKI REZOLOWĄ O, KOSNTRUKACJI ŻELBETOWEJ GR. 20 CM.

Część nośna ściany	Materiał izolacyjny	λ_{obl}	grubość izolacji	U_c	typ łącznika mechanicznego	średnia ilość łączników	ΔU	$U_c = U + \Delta U$	U_{cmax} rok 2017	Grubość muru
		[W/mK]	[m]	[W/m ² K]		szt/m ²	[W/m ² K]	[W/m ² K]		
Żelbet 20 cm	WMI	0,042	0,28	0,143	ze stali nierdzewnej	6	0,078	0,221	0,23	0,52
	WMI	0,037	0,24	0,143	ze stali nierdzewnej	6	0,08	0,223		0,48
	pianka rezolowa	0,02	0,12	0,158	z tworzywa	6	0,07	0,228		0,40

TABELA 15. PARAMETRY IZOLACYJNE ŚCIAN IZOLOWANYCH WMI LUB PIAKĄ REZOLOWĄ O , KOSNTRUKACJA Z CEGŁY SILIKATOWEJ GR. 24 CM.

Część nośna ściany	Materiał izolacyjny	λ_{obl}	grubość izolacji	U_c	typ łącznika mechanicznego	średnia ilość łączników	ΔU	$U_c = U + \Delta U$	U_{cMAX} rok 2017	Grubość muru
		[W/mK]	[m]	[W/m ² K]		szt/m2	[W/m ² K]	[W/m ² K]		
Silikat 24 cm	WMI	0,042	0,26	0,151	ze stali nierdzewnej	6	0,076	0,227	0,23	0,54
	WMI	0,037	0,22	0,152	ze stali nierdzewnej	6	0,078	0,23		0,50
	pianka rezolowa	0,02	0,12	0,155	z tworzywa	6	0,07	0,225		0,40

Analiza energetyczna budynku biurowego wykonanego z żelbetu izolowanego WMI lub pianką rezolową.

TABELA 16. GEOMETRIA BUDYNKU BIUROWEGO PIĘCOKONDYGNACYJNEGO PRZY OCIEPLENIU WMI LUB PIAKĄ REZOLOWĄ.

Materiał izolacyjny	grubość muru	grubość materiału termo.	Powierzchnia zabudowy - A_z	A_f - powierzchnia użytkowa	A_f / A_z	dodatkowa powierzchnia biurowa
	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]		[m ²]
WMI $\lambda_{obl} = 0,042$ W/mK	0,52	0,28	928,8	5288,88	5,69	0
WMI $\lambda_{obl} = 0,036$ W/mK	0,48	0,24	928,8	5322,24	5,73	33,36
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02$ W/mK	0,36	0,12	928,8	5422,8	5,84	133,92

Przy zastosowaniu pianki rezolowej powierzchnia użytkowa będzie zwiększona o 133,92 m², co stanowi wzrost o około 2,5 % powierzchni użytkowej uzyskanej przy stosowaniu WMI o $\lambda = 0,042$ W/mK i ok. 1,8% powierzchni użytkowej przy ociepleniu WMI o $\lambda = 0,036$ W/mK. Iloraz powierzchni użytkowej do powierzchni zabudowy jest najwyższy przy izolacji z pianki rezolowej. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 15 i 16.

Przy zastosowaniu pianki rezolowej ściany charakteryzują współczynnikami przenikania $U=0,225$ W/m²K, koszty budowy wzrosną o 259 588 zł, co stanowi 48 zł/m² p.u.

TABELA 17. ANALIZA WZROSTU KOSZTÓW BUDOWY ZE WZGLĘDU NA ZASTOSOWANY MATERIAŁ IZOLACYJNY.

Materiał izolacyjny	U ściany	A ściany	Ilość materiału termo.	jednostkowy koszty materiału	Koszty izolacji termicznej	dodatkowe koszty izolacji	Dodatkowe koszty na 1 m2 p.u.
	[W/m2K]	[m2]	[m3]	[zł/m3]		[zł]	[zł/m2 p.u.]
WMI $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	0,221	2508	723,31	230,0	161 515	0	0
WMI $\lambda_{obl} = 0,036 \text{ W/mK}$	0,223	2508	619,98	285,0	171 547	10 032	2
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	0,228	2508	391,248	1399,2	421 103	259 588	48

TABELA 18. KOSZTY EKSPLOATACYJNE ORAZ DODATKOWE PRZYCHODY ZE ZWIĘKSZONEJ POWIERZCHNI UŻYTKOWEJ.

Materiał izolacyjny	EU	EK	EP	łącznie koszty ogrzewania	roczne oszczędności kosztów ogrzewania	dodatkowe przychody ze zwiększonej p.b.	łącznie przychody
	kWh/m2a	kWh/m2a	kWh/m2a	zł/rok	zł	zł	zł/rok
WMI $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	23,67	28,21	31,03	44759,8	0,0	0	
WMI $\lambda_{obl} = 0,036 \text{ W/mK}$	23,47	27,97	30,77	44658,9	100,9	24019,2	24120,1
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	22,84	27,23	29,95	44298,9	460,9	96422,4	96883,3

Czas zwrotu poniesionych zwiększonych nakładów na wykonanie izolacji termicznej pianką rezolową nastąpi po okresie około SPBT = 2,68 lat. **Zmniejszenie grubości izolacji termicznej ma wpływ na koszty konstrukcji wsporczej warstwy osłonowej, czego nie uwzględniono w przeprowadzonej analizie.**

Ponadto im grubsza izolacja termiczna tym konstrukcja musi być odpowiednio większa, co nie jest bez znaczenia na wielkość mostków punktowych. Zastosowanie pianki rezolowej o bardzo dobrych parametrach izolacyjnych w budynkach biurowych jest uzasadnione ekonomicznie.

3.3 OBLICZENIE U ŚCIANY WENTYLOWANEJ DLA WYMAGAŃ Z 2021

Do analiz przyjęto konstrukcję ściany składającą się z tynku gipsowego 1 cm, żelbetu 20 cm lub silikatu 24 cm, izolacji z WMI o $\lambda = 0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\lambda = 0,036 \text{ W/m}^2\text{K}$ lub pianki rezolowej o $\lambda = 0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ pozwalające spełnić wymagania prawne w zakresie izolacji termicznej w 2021 roku. W przypadku WMI przewidziano mocowanie płyt za pomocą 6 łączników stalowych ze stali nierdzewnej na 1 m² ściany oraz połączenia warstwy osłonowej z konstrukcją ścian za pomocą łączników ze stali nierdzewnej. Określenie izolacyjności i grubości ścian zamieszczono w tabeli poniżej.

Grubość muru przy izolacji WMI jest większa odpowiednio o 18 cm przy $\lambda = 0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$ i 15 cm przy $\lambda = 0,036 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Analiza energetyczna budynku biurowego wykonanego z żelbetu izolowanego WMI lub pianką rezolową.

TABELA 19. PARAMETRY IZOLACYJNE ŚCIAN IZOLOWANYCH WMI LUB PIANKI REZOLOWEJ , KOSNTRUKACJA ŻELBETOWA 20 CM.

Część nośna ściany	Materiał izolacyjny	λ_{obl}	grubość izolacji	U_c	typ łącznika mechanicznego	średnia ilość łączników	ΔU	$U_c = U + \Delta U$	U_{cMAX} rok 2021	Grubość muru
		[W/mK]	[m]	[W/m ² K]		szt/m ²	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[m]
żelbet 20 cm	WMI	0,042	0,33	0,122	ze stali nierdzewnej	6	0,075	0,197	0,2	0,61
	WMI	0,036	0,3	0,115	ze stali nierdzewnej	6	0,077	0,192		0,58
	pianka rezolowa	0,02	0,15	0,128	z tworzywa	6	0,07	0,198		0,43

TABELA 20. GEOMETRIA BUDYNKU BIUROWEGO PIĘCOKONDYGNACYJNEGO PRZY OCIEPLENIU WMI LUB PIANKĄ REZOLOWĄ.

Materiał izolacyjny	grubość muru	grubość materiału termo.	Powierzchnia zabudowy - A_z	A_f - powierzchnia użytkowa	A_f / A_z	dodatkowa powierzchnia biurowa
	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]		[m ²]
WMI $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	0,61	0,33	928,8	5255,58	5,66	0
WMI $\lambda_{obl} = 0,03 \text{ W/mK}$	0,58	0,3	928,8	5280,54	5,69	24,96
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	0,43	0,15	928,8	5406	5,82	150,42

Przy zastosowaniu pianki rezolowej powierzchnia użytkowa będzie zwiększona o 150,42 m², co stanowi wzrost o około 2,86 % powierzchni użytkowej uzyskanej przy stosowaniu WMI o $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$ i ok. 1,8% powierzchni użytkowej przy ociepleniu WMI o $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$. Iloraz

powierzchni użytkowej do powierzchni zabudowy jest najwyższy przy izolacji z pianki rezolowej. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 19 i 20.

Przy zastosowaniu pianki rezolowej ściany charakteryzują współczynnikiem przenikania $U=0,198 \text{ W/m}^2\text{K}$, koszty budowy wzrosną o 311 494 zł, co stanowi 58 zł/m² p.u.

TABELA 21. ANALIZA EKONOMICZNA KOSZTÓW INWESTYCJI Z WYKORZYSTANIEM RÓŻNYCH MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH.

Materiał izolacyjny	U ściany	A ściany	Ilość materiału termo.	Koszty inwestycji	dodatkowe koszty inwestycji	Dodatkowe koszty na 1 m ² p.u.
	[W/m ² K]	[m ²]	[m ³]	[zł]	[zł]	[zł/m ² p.u.]
WMI $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	0,197	2508	852,47	190 357	0	0
WMI $\lambda_{obl} = 0,03 \text{ W/mK}$	0,192	2508	790,02	214 434	24 077	5
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	0,198	2508	387,486	501 851	311 494	58

TABELA 22. KOSZTY EKSPLOATACYJNE ORAZ DODATKOWE PRZYCHODY ZE ZWIĘKSZONEJ POWIERZCHNI UŻYTKOWEJ.

Materiał izolacyjny	EU	EK	EP	łącznie koszty ogrzewania	oszczędności roczne kosztów ogrzewania	dodatkowe przychody ze zwiększonej p.b.	łącznie przychody
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	[zł]	[zł]	[zł]	zł/rok
WMI $\lambda_{obl} = 0,042 \text{ W/mK}$	22,94	27,43	30,07	43248,2	0,0	0	
WMI $\lambda_{obl} = 0,03 \text{ W/mK}$	22,58	26,91	29,61	42629,8	618,4	17971,2	18589,6
pianka rezolowa $\lambda_{obl} = 0,02 \text{ W/mK}$	21,97	26,19	28,8	42474,9	773,2	108302,4	109075,6

Czas zwrotu poniesionych zwiększonych nakładów na wykonanie izolacji termicznej pianką rezolową nastąpi po okresie około SPBT = 2,2 lat. **Zmniejszenie grubości izolacji termicznej ma wpływ na koszty konstrukcji wsporczej warstwy osłonowej, czego nie uwzględniono w przeprowadzonej analizie.**

Ponadto im grubsza izolacja termiczna, tym konstrukcja musi być odpowiednio większa, co nie jest bez znaczenia na wpływ wielkość mostków punktowych. Zastosowanie pianki rezolowej o bardzo dobrych parametrach izolacyjnych w budynkach biurowych jest uzasadnione ekonomicznie.

4. PODSUMOWANIE

Dostępność działek w miastach stopniowo ulega wyczerpaniu. Z tego powodu każde rozwiązanie umożliwiające zwiększenie powierzchni użytkowej przy tej samej powierzchni użytkowej powinno być wzięte pod uwagę i dokładnie przeanalizowane pod względem kosztów oraz korzyści. W analizowanych przypadkach dzięki zastosowaniu pianki rezolowej o $\lambda = 0,02$ W/m·K można uzyskać zwiększenie powierzchni biurowej. Rozwiązania tego typu są uzasadnione ekonomicznie w sytuacji gdy powierzchnia zabudowy jest ograniczona. Czas zwrotu poniesionych zwiększonych nakładów na inwestycje nie przekracza 4 lat. Rentowność zainwestowanych środków wynosi około 25% rocznie, co w dzisiejszych warunkach jest bardzo rentowną inwestycją.

Oprócz opłacalności ważną z inżynierskiego punktu widzenia są zagadnienia związane z fizyką budowli oraz aspekty konstrukcyjne.

Budowanie ścian w systemie ETICS o bardzo dużych grubościach (powyżej 20 cm) natrafia na trudności prawne. Stosowanie takich rozwiązań wymaga uzyskania niezbędnych badań, potwierdzonych przez jednostki notyfikacyjne. W ścianach z wentylowaną warstwą osłonową o dużym ciężarze wymagać będzie dość rozbudowanych konstrukcji wsporczych, a te mają wpływ na coraz większy udział mostków termicznych w izolacyjności ściany.

TABELA 23. DODATKOWA POWIERZCHNIA UZYSKANA DZIĘKI ZASTOSOWANIU MATERIAŁÓW O LEPSZYCH PARAMETRACH IZOLACYJNYCH.

Rodzaj materiału termoizolacyjnego	Wymagania prawne obowiązujące od:			
	2017	2021	2017	2021
	ETICS		ściana wentylowana	
Materiał izolacyjny	dodatkowa powierzchnia biurowa		dodatkowa powierzchnia biurowa	
	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]
WMI $\lambda_{obl} = 0,042$ W/mK	0	0	0	0
WMI $\lambda_{obl} = 0,036$ W/mK	0	16,74	33,36	24,96
PR - $\lambda_{obl} = 0,02$ W/mK	75,8	99,92	133,92	150,42

Popularne fasady kamienne oparte o tradycyjne materiały izolacyjne ze względu na rozbudowaną konstrukcję wsporczą uniemożliwiają uzyskanie współczynnika przenikania ciepła U poniżej 0,18 W/m²K. Ponadto rozwiązania takie są kosztowne.

Kolejną grupą inwestorów, którzy powinni rozważyć stosowanie pianki rezolowej są deweloperzy, wznoszący budynki wielorodzinne na działkach o bardzo korzystnej lokalizacji. Koszt takich działek jest stosunkowo wysoki a więc koszt sprzedaży będzie odpowiednio wysoki. Warto rozważyć zastosowanie rozwiązań materiałowych pozwalających zwiększyć powierzchnię użytkową, którą można drożej sprzedać. Z wykonanej analizy można stwierdzić, że zabieg ten jest opłacalny przy marży przekraczającej 2000 - 2500 zł/m² p.u.

Wydaje się więc uzasadnione stwierdzenie, że w najbliższych latach będziemy świadkami kolejnego przełomu w zakresie preferowanych przez projektantów rozwiązań materiałowych o radykalnie obniżonych parametrach izolacyjnych.

5. LITERATURA:

1. Dyrektywa 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. (wraz z późniejszymi zmianami) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
3. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 462)
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 2 lipca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej obowiązujące od 3 października 2014.
5. Polska Norma PN-EN ISO 6946:2008 „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczeń”.
6. Polska Norma PN-EN ISO 13790:2009 „Energetyczne właściwości użytkowe budynków - Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia”.
7. Polska Norma PN-EN ISO 13370:2001 „Właściwości cieplne budynków - Wymiana ciepła przez grunt - Metody obliczania”.
8. PN-EN ISO 10211 „Mostki cieplne w budynkach - Strumienie ciepła i temperatury powierzchni - Obliczenia szczegółowe”
9. Polska Norma PN-EN 12831:2006 „Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego”.
10. PN-EN ISO 13789 „Cieplne właściwości użytkowe budynków. Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania”.
11. PN-EN-ISO 10077-1:2007 „Cieplne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji. Obliczanie współczynnika przenikania ciepła”.
12. PN-83 B-03430/Az3:2000 „Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej”.
13. PN-EN 308 „Wymienniki ciepła. Procedury badawcze wyznaczania wydajności urządzeń do odzyskiwania ciepła w układzie powietrze-powietrze i powietrze-gazy spalinowe.”
14. PN-EN 13829 „Właściwości cieplne budynków. Określanie przepuszczalności powietrznej budynków. Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora”.
15. PN-ISO 9836:1997 „Właściwości użytkowe w budownictwie. Określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych”.
16. PN-EN ISO 10456:2004 Materiały i wyroby budowlane - Procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.
17. Byrdy A, Punktowe mostki termiczne w ścianach z okładziną z kamienia naturalnego. Materiały konferencyjne Energodom 2014
18. Byrdy A, Okładziny kamienne stosowane do wykonywania zewnętrznych elewacyjnych. Izolacje 6/2007, 68-70
19. Aprobata techniczna ITB AT-15-9158/2013.