

ne, fundamenty wysokich budynków z podziemiami o kilku kondygnacjach, są coraz częściej stosowane w budownictwie komunikacyjnym przy budowie tuneli oraz dróg przebiegających poniżej powierzchni terenu. Główną zaletą tego typu konstrukcji jest fakt, że umożliwiają realizację głęboko posadowionych fundamentów bez konieczności wykonywania szeroko-przestrzennych wykopów. Nie wymagają one dużych placów budowy, mogą być wykonywane w bliskim sąsiedztwie istniejących obiektów. Wszystkie wymienione czynniki sprawiają, że ściany szczelinowe stanowią dobre i często jedyne możliwe do realizacji rozwiązanie w dużych miastach o gęstej zabudowie.

Analiza zachowania się ścian szczelinowych w kolejnych fazach budowy, którą wykonano za pomocą programu komputerowego PLAXIS, wykazała, że największe przemieszczenia konstrukcji występują w koronie ściany. Ściana odkształca się w kierunku wykopu. Największy przyrost wartości przemieszczeń stwierdzono w fazie głębienia wykopu do poziomu posadowienia płyty fundamentowej. Przemieszczenia poziome i pionowe osiągają wartości graniczne (około 25 mm) po usunięciu zakotwienia.

Wartości przemieszczeń ściany w poziomie posadowienia są minimalne. Nie stwierdzono możliwości nadmiernego osiadania ścian szczelinowych.

Występujące w podłożu gruntowym piaski, o stopniu zagęszczenia $I_d = 0,7$ stanowią dobrą podstawę do posadowienia ścian szczelinowych.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę MNiSW w latach 2009–2012 jako projekt badawczy nr N N506 432436.

BIBLIOGRAFIA, NORMY I WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Grzegorzewicz K., 2005: Projektowanie i wykonywanie ścian szczelinowych, „Geoinżynieria Drogi, Mosty, Tunele”, nr 03/2005[06]
- [2] Jarominiak A., 1999: Lekkie konstrukcje oporowe, Wydawnictwa Komunikacji głębokiego Łączności, Warszawa
- [3] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2 czerwca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie
- [4] Siemińska-Lewandowska A., 2006: Projektowanie ścian głębokich wykopów – teoria i praktyka, „Geoinżynieria Drogi, Mosty, Tunele”, nr 02/2006[09]
- [5] Stolec Ł., 2010: Ocena zachowania się obudowy głębokiego wykopu na przykładzie trasy S8. (Praca magisterska), SGGW, Warszawa
- [6] PLAXIS v. 8.5.0.1133 Users manual. A.A. Balkema 2002
- [7] PN-81/B-03020 Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednie budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie
- [8] PN-83/B-03010 Ściany oporowe – Obliczenia statyczne i projektowanie
- [9] Projekt uszczelnienia gruntu pod wykopem metodą iniekcji strumieniowej na budowie Drogi Ekspresowej S8 – Trasa Armii Krajowej od węzła „Konotopa” do węzła „Prymasa Tysiąclecia”. Odcinek Radiowa od km 8+400 do km 9+305, Keller Polska Sp. z.o.o. Specjalistyczne techniki fundamentowania. Ożarów mazowiecki 2008
- [10] Dokumentacja Geologiczno-Inżynierska. Projekt Drogowy. Droga ekspresowa S8 – Trasa Armii Krajowej od węzła „Konotopa” do węzła „Prymasa Tysiąclecia”. Profil Grupa ARCADIS Polska, Warszawa 2005

Analiza termiczna konstrukcji ramy okiennej z PVC

Dr hab. inż. Edward Michłowicz, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków,
mgr inż. Rafał Karaś, OKNOPLAST Kraków

1. Rodzaje konstrukcji i ich parametry

Użycie konstrukcji z kształowników PVC jest obecnie bardzo powszechne. Znajdują one swoje zastosowanie w różnych warunkach środowiska naturalnego oraz w budynkach i pomieszczeniach o bardzo różnym przeznaczeniu. W zależności od warunków, w któ-

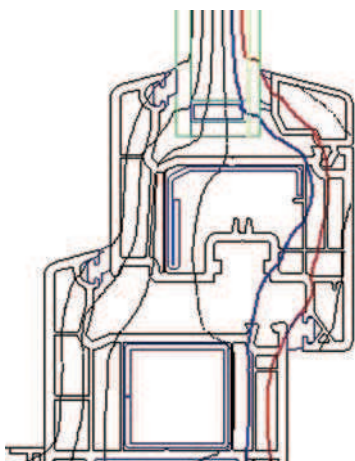
rych się znajdują, muszą posiadać odpowiednie parametry.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi okienne konstrukcje z PVC są:

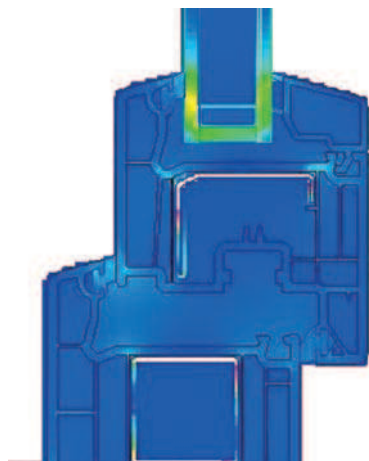
- statyka konstrukcji,
- szczelność konstrukcji,
- właściwości antywłamaniowe,
- właściwości akustyczne,
- właściwości cieplne.

Najważniejszym czynnikiem

jest statyka konstrukcji, ponieważ konstrukcja musi spełniać wymagania wytrzymałościowe dla bezpieczeństwa użytkownika. Jest ona zależna od momentów bezwładności profili stalowych zastosowanych w konstrukcji. Ten parametr decyduje o tym, czy pod naporem wiatru konstrukcja ugnie się w granicach bezpiecznych wartości, które nie spowo-



Rys. 1. Przebieg izoterm w konstrukcji PVC



Rys. 2. Mostki ciepłe w konstrukcji z kształtowników PVC

dują np. pęknięcia szyby i zagrożenia życia.

Następnym parametrem jest szczelność. W tym przypadku decydującą rolę odgrywa kształt profilu, jak również ilość uszczelki oraz wymiary i rozmieszczenie w konstrukcji rowków odwadniających.

Wartości akustyczne konstrukcji są określone przez ilość uszczelnień po obwodzie konstrukcji, rodzaj i budowę oszklenia oraz statykę konstrukcji.

Właściwości antywłamaniowe zależą przede wszystkim od budowy kształtowników PVC, sposobu montażu zaczepów i zawiasów oraz wyboru klamki o odpowiedniej wytrzymałości na zrywanie (min. 100 Nm).

Ze względu na położenie geograficzne miejsca montażu konstrukcji wyróżnia się:

- konstrukcje odporne na działanie promieni UV i wysokie temperatury – kraje, w których występuje wysoka średnia temperatura oraz duże nasłonecznienie (np. Włochy, Grecja, Turcja, Bułgaria),

- konstrukcje odporne na działanie niskich temperatur – kraje, w których występuje niska temperatura (np. Finlandia, Szwecja),

- konstrukcje o wysokich parametrach sztywności – budynki o wysokich konstrukcjach (wieżowce),

- konstrukcje o wysokich parametrach szczelności – pasy terenów nadmorskich, gdzie występuje znaczne zasolenie środowiska,

- konstrukcje antylawinowe – tereny góryste (np. Alpy),

- konstrukcje odporne na uderzenia latających przedmiotów – tereny huraganów, tsunami, trąb powietrznych.

Ze względu na funkcję pomieszczenia, w którym zastosowano konstrukcję można wyróżnić:

- konstrukcje antywłamaniowe – banki, sklepy jubilerskie, kantory, posterunki policji,

- konstrukcje o niskim współczynniku przenikania ciepła – pomieszczenia, w których towary przechowywane są w stałych temperaturach (chłodnie, suszarnie, magazyny),

- konstrukcje, do których przenikają promienie UV, ważne dla uprawy – szklarnie, ogrody zimowe,

- konstrukcje, które nie powodują wycieków mogących wywołać uczulenie – ośrodki zdrowia, szpitale, żłobki,

- konstrukcje chroniące przed promieniowaniem – pomieszczenia z aparaturą rentgenowską,

- konstrukcje o wysokich parametrach tłumienia dźwięku – studia nagrań, teatry, kina,

- konstrukcje odporne na działanie środków chemicznych – laboratoria, obiekty rolne.

Zupełnie inne właściwości należy analizować, jeżeli projektujemy konstrukcje, które muszą posiadać odpowiednie właściwości izolacji termicznej.

2. Opis właściwości termicznych

Wymagania związane z gospodarką cieplną w pomieszczeniach są jednymi z najczęstszych stawianych przez użytkowników, dlatego jej parametry są właściwościami najbardziej analizowanymi przez producentów konstrukcji z PVC. Problem jest powszechny, bo dotyczy m.in. nowo powstałych obiektów budowlanych: domów mieszkalnych do użytku indywidualnego i budowli użyteczności publicznej. Jednym z najważniejszych parametrów cieplnych jest izolacja cieplna.

Izolacja cieplna wpływa na przebieg powstawania izoterm w konstrukcji PVC. Obraz powstawania odpowiednich temperatur pozwala na określenie pracy termicznej konstrukcji oraz określenie miejsc, w których może skroplić się para wodna, co z kolei może wpłynąć na korozję elementów usztywnienia stalowego lub okuć.

Na rysunku 1 przedstawiono przebieg izoterm w konstrukcji z PVC przykładowej ramy okiennej.

Właściwości termiczne zależą między innymi od zastosowanych materiałów i ich parametrów fizycznych (tab. 1).

Aby zaprojektować konstrukcję o jak najlepszych parametrach ciepl-

Tabela 1. Parametry materiałów stosowanych w konstrukcjach z kształtowników PVC

Materiał	Gęstość (g/cm ³)	Przewodność cieplna λ(W/mK)
Aluminium	2,7	220
Stal	7,84	50
PCV-U	1,4	0,14
Szkło	2,5	0,8
Polietylen	0,96	0,33–0,50
Polipropylen	0,81	0,24

nych należy ograniczyć możliwość powstania mostków cieplnych.

Mostki termiczne są to ograniczone przestrzennie obszary konstrukcji, w których, w porównaniu z obszarami przyległymi, występuje niższa temperatura powierzchni wskutek zwiększonego odprowadzania ciepła (rys. 2). Innymi słowy, ich przewodność cieplna λ jest większa niż otaczających je materiałów, co wpływa na przebieg izoterm w konstrukcji PVC.

Na rysunku 2 przedstawiono mostki cieplne występujące w typowej konstrukcji ramy z PVC.

O przebiegu izoterm decyduje opór cieplny materiału (wzory 1–3).

Opór cieplny jednorodnego komponentu:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (1)$$

gdzie:

R_i – opór cieplny warstwy materiału,

d_i – grubość warstwy materiału,

λ_i – obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła materiału.

Opór cieplny przegrody:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad (2)$$

Całkowity opór cieplny R_T :

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} \quad (3)$$

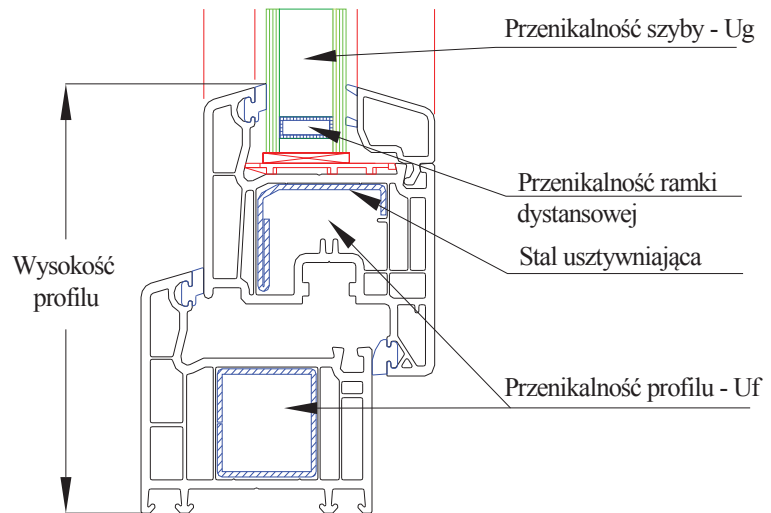
gdzie:

R_{si} – opór przyjmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni,

R_{se} – opór przyjmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni,

R – opór cieplny przegrody.

Jakość elementu konstrukcyjnego pod względem jego izolacyjności cieplnej charakteryzuje współczynnik przenikania ciepła. Współczynnik U przenikania ciepła to stosunek gęstości ustalonego strumienia cieplnego do różnicy temperatur powietrza po obu stronach przegrody. Jest to odwrotność współczynnika oporu cieplnego R_T (wzór 4). Im



Rys. 3. Składowe parametry przenikalności termicznej ramy z kształtowników PVC

niższa wartość współczynnika U , tym lepszymi właściwościami izolacyjnymi charakteryzuje się materiał.

Współczynnik przenikania ciepła U :

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

gdzie:

R_T – całkowity opór cieplny.

Powstawanie mostków cieplnych ma wpływ na współczynnik przenikania ciepła i przebieg temperatury w konstrukcji PVC. Oczekiwane temperatury powierzchni i straty ciepła w czasie transmisji można obliczyć za pomocą równania przewodzenia ciepła (wzór 5) oraz wykorzystując metodę elementów skończonych (przykładowe wyniki obliczeń zawarto w tabeli 2).

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\psi = L^{2D} - U_f l_f - U_g l_g \quad (5)$$

gdzie:

L^{2D} – dwuwymiarowa przewodność cieplna,

U_f – współczynnik przenikania ciepła profilu,

l_f – zrzutowana szerokość profilu ramy,

U_g – współczynnik przenikania ciepła oszklenia,

l_g – widoczna szerokość oszklenia.

3. Analiza właściwości termicznych w przykładowej konstrukcji z kształtowników PVC

Analizę przeprowadzono na przykładzie konkretnej ramy z kształtowników PVC. Celem analizy było ustalenie wpływu wysokości profilu na wartość przenikania ciepła konstrukcji z kształtowników PVC. Analizę taką można wykonać wykorzystując zależności opisujące przenikalność cieplną całej konstrukcji (wzór 6).

Na rysunku 3 przedstawiono parametry składowe przenikalności termicznej konstrukcji z kształtowników PVC. Natomiast w tabeli 2 zestawiono wyniki obliczeń przeprowadzonych dla przykładowej ramy okiennej o wymiarach opisanych poniżej.

Wzór na obliczanie przenikalności termicznej w oknie:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + U_g \cdot A_g + L \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} \quad (6)$$

gdzie:

U_w – współczynnik U okna [W/m^2K],

A_f – powierzchnia ramy [m^2],

U_f – współczynnik przenikalności cieplnej profilu [W/m^2K],

A_g – powierzchnia oszklenia [m^2],

U_g – współczynnik przenikalności cieplnej szyby [W/m^2K],

Tabela 2. Zestawienie tabelaryczne wyników analizy

Lp.	Wysokość profilu [mm]	Współczynnik przenikania [W/m ² K]
1.	50	1,2507
2.	100	1,2844
3.	150	1,3147
4.	200	1,3413
5.	250	1,3644
6.	300	1,3840

L_g – obwód [m] (krawędź szkła),
 Ψ_g – liniowa przenikalność cieplna ramki dystansowej [W/m²K].

Obliczenia dotyczą przenikalności termicznej konstrukcji okna o wymiarach 1500 × 1500 mm. Aby ustalić wpływ wysokości profilu na właściwości konstrukcji PVC zostały przyjęte stałe parametry przenikalności części profilowej, oszklenia i krawędzi oszklenia. Wzajemny udział procentowy w wynikach przenikalności termicznej zależy od wymiarów części profilowej.

Zestawienie parametrów dla okna o wymiarach 1500 x 1500 mm:

- przenikalność części profilowej – 1,4 [W/m²K],
- przenikalność szyby – 1 [W/m²K],
- liniowy współczynnik przenikania krawędzi szyby – 0,008 [W/m²K].

Otrzymane wyniki zostały przedstawione w formie tabelarycznej (tab. 2) i w postaci wykresu (rys. 4). Wykres (rys. 4) przedstawia zmianę parametrów przenikania ciepła w odniesieniu do wysokości części profilowej PVC. Analiza wskazuje kierunek, w jakim powinno podążać projektowanie kształtow-

ników. Najlepsze parametry izolujące uzyskuje się przy zmniejszeniu wysokości profilu. Zależność ta wynika przede wszystkim z parametrów izolujących profilu i szyby. Parametry izolacji termicznej szyby są lepsze niż parametry profilu. Stąd najlepsze wartości izolacyjne uzyskuje się w sytuacji, kiedy profil zostaje maksymalnie zmniejszony, a dominujące w obliczeniach stają się parametry szyby.

4. Podsumowanie

Jak wynika z przytoczonego podziału konstrukcji ram z kształtowników PVC, liczba parametrów technicznych, które powinny podlegać analizie jest bardzo duża. Projektant musi dokładnie znać miejsce montażu konstrukcji i w zależności od oczekiwanego efektu końcowego odpowiednio zaprojektować konstrukcję.

W artykule przedstawiono obliczenia współczynnika przenikalności cieplnej dla wybranej konstrukcji. Z przedstawionej analizy wynika, że część profilowa ramy jest elementem, który w największym stopniu

wpływa na zmianę właściwości termicznych konstrukcji. Ograniczenie wysokości profili ramy i skrzydła wpływa na polepszenie warunków cieplnych, jakimi będzie charakteryzowała się konstrukcja. Należy jednak zaznaczyć, że analiza nie obejmuje dodatkowych elementów, jakimi są okucia i otwory technologiczne w konstrukcji.

Właściwy dobór parametrów cieplnych dotyczy większości konstrukcji, dlatego też poszukiwanie nowych rozwiązań technicznych poprawiających parametry izolacji termicznej jest jednym z podstawowych zagadnień w tworzeniu nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych ram z kształtowników PVC.

BIBLIOGRAFIA

[1] Obłój-Muzaj M., Polichlorek winylu. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne WNT, Warszawa 1997

[2] Leszczyńska-Sydor M., Dynamiczna izolacja cieplna przegród budowlanych. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 1994

[3] Jasiczak J., Obliczanie izolacyjności termicznej i nośności murowanych ścian zewnętrznych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2003

[4] Norwicz J., Termomodernizacja budynków dla poprawy jakości środowiska. Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Gliwice 2004

[5] Thoma J. U., Modelling and simulation in thermal and chemical engineering: a bond graph approach. Springer, Berlin 2000

[6] Karaś R., Michłowicz E., Analiza termiczna konstrukcji z kształtowników PVC. Zeszyty Naukowe Polit. Świętokrzyskiej, Budowa i Eksploatacja Maszyn Nr 11. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2008

[7] Karaś R., Michłowicz E., Wpływ własności termizolacyjnych profili okiennych z PVC na ochronę środowiska. Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH Nr 32, Kraków 2006

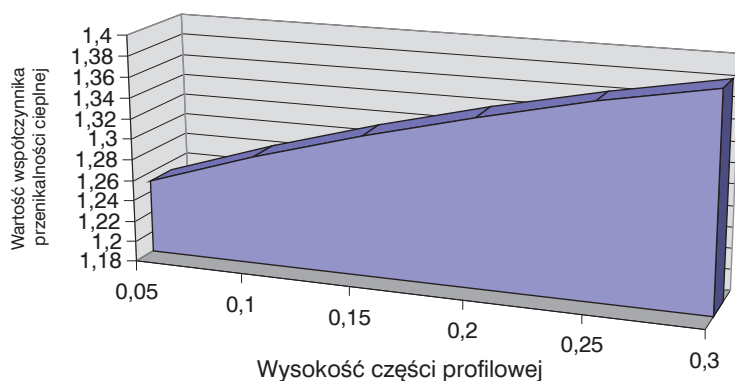
[8] Klemm P. (red.), Budownictwo ogólne t. 2. Fizyka budowli. Arkady, Warszawa 2009

[9] Norma PN-EN 6946:1999. Komponenty budowlane i elementy budynków. Opór cieplny i współczynnik przewodzenia ciepła

[10] Norma PN-EN ISO 10211:2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepłe i temperatury powierzchni

[11] Norma PN-EN ISO 14683:2008. Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne

[12] Norma PN-EN ISO 10077-1:2002. Właściwości cieplne okien, drzwi i żaluzji. Obliczanie współczynnika przenikania ciepła



Rys. 4. Przenikalność cieplna konstrukcji PVC w odniesieniu do wysokości części profilowej