ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: BUDOWNICTWO z. 104 Nr kol. 1695

Artur PIEKARCZUK*
Instytut Techniki Budowlanej

METODA OBLICZEŃ SZTYWNOŚCI OKIEN Z PVC

Streszczenie. Referat dotyczy sposobu obliczania ugięć elementów konstrukcyjnych okien przy obciążeniu wiatrem na przykładzie okien rodzaju PVC. W pracy został przedstawiony sposób postępowania przy wyznaczaniu ugięć, w którym uwzględniono szczegółową specyfikę konstrukcji. Zaproponowany sposób obliczeń stanowi uzupełnienie dotychczas stosowanych metod.

THE METHOD OF RIGIDITY CALCULATION OF PLASTIC WINDOWS

Summary. The report concerns the method of calculations the structural members of PVC windows under the wind load. The report present the method of analytical deflection assessment with all construction details. Propose approach the complement of so far used in engineering practical procedures.

1. Wprowadzenie

„Okno jest to ruchoma lub stała część ściany zewnętrznej, izolująca, przepuszczająca światło'' [1]. Izolacyjna funkcja okna polega na ochronie pomieszczeń przed niekorzystnymi wpływami atmosferycznymi oraz utrzymaniu odpowiedniego klimatu cieplnego, wilgotnościowego i akustycznego wewnątrz pomieszczeń. Stopień spełnienia swej funkcji przez okno jako wyrób budowlany uzależniony jest od jego konstrukcji, tj. od rodzaju materiałów składowych oraz sposobu połączenia ich w całość. Dopiero poprawnie zaprojektowane okno jest w stanie bezpiecznie przenieść obciążenia, na jakie może być narażone podczas eksploatacji i zachować odpowiednie właściwości użytkowe.

Zachowanie odpowiednich parametrów technicznych dotyczy wszystkich rodzajów, systemów i typów okien. Doskonalone wraz z rozwojem techniki rozwiązania konstrukcyjno–materiałowe powodują, że funkcja nowoczesnego okna jest stale wzbogacana

* Opiekun naukowy: Prof. dr inż. Bohdan Lewicki, dr h.c.

i dostosowywana do potrzeb użytkowych. Ponadto, aby zachować konkurencyjność swoich wyrobów, producenci stolarki okiennej wprowadzają na rynek nowe rozwiązania oraz wzbogacają już istniejące systemy.

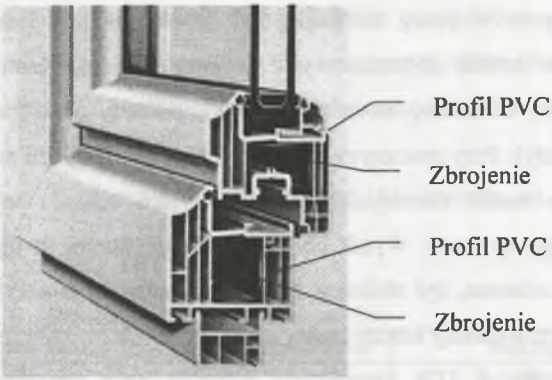
Prowadzi to do pojawiania się na rynku szerokiego asortymentu rozwiązań technicznych przez typoszeregi wymiarowe - od okien standardowych o wymiarach 1,4x1,6 m do oryginalnych rozwiązań wykonywanych na indywidualne zamówienia, różnorodność konstrukcji (okna jedno- i dwurzędowe, jedno- i dwudzielne, ze słupkiem stałym lub ruchomym) aż do bogatej gamy profili, okuć i oszkleń.

2. Specyfikacja zagadnienia

Do najpopularniejszych obecnie na rynku systemów należą okna PVC. Okna te zyskały uznanie nabywców, głównie za sprawą bardzo dużego asortymentu wyrobów w porównaniu do okien aluminiowych i drewnianych, Jednocześnie zalety, które czynią ten system popularnym – stwarzają istotne bariery (ze względu na różnorodność typów) w zakresie projektowania okien PVC.

Metody badań laboratoryjnych w zakresie oceny ugięcia okien pod obciążeniem wiatrem [2] uległy znacznemu rozwojowi, podczas gdy metody obliczeń [5] ciągle pozostają na poziomie uproszczonym. Uproszczenia te wynikają głównie ze zbyt ogólnych założeń do metod obliczeń, które nie uwzględniają wpływu wszystkich komponentów okna (profili, łączników, szyb) na jego odkształcalność. Obecnie w praktyce inżynierskiej stosowana jest uproszczona metoda obliczeń ugięć elementów nośnych okna pod obciążeniem wiatrem (zwana dalej metodą tradycyjną).

Model obliczeniowy metody tradycyjnej ma tylko jeden parametr zmienny, a mianowicie sztywność giętną elementu nośnego, którym jest profil stalowy (zbrojenie) umieszczony wewnątrz profilu PVC (rys.1).



Rys. 1. Przekrój przez ościeżnicę i skrzydło okna PVC
Fig. 1. Cross section of casement

Jeden parametr nie odwzorowuje w pełni złożonej konstrukcji, jaką jest okno. W konsekwencji, metoda tradycyjna jest mało efektywna. Miarą nieefektywnego projektowania na podstawie obliczeń jest błąd modelu, czyli niedokładność odwzorowania rzeczywistej konstrukcji modelem obliczeniowym.

W przypadku okien błąd modelu określa się jako stosunek ugięcia elementu nośnego ustalanego na podstawie obliczeń do ugięcia tego samego elementu określonego na podstawie badań. Jak wykazano w [3], przy posługiwaniu się tradycyjną metodą obliczeń błąd modelu współczesnych okien PVC dochodzi do wartości 2,8. Nie oznacza to, że okno jest niepoprawnie skonstruowane, lecz jest dowodem na to, że tradycyjna metoda obliczeń nie odwzorowuje wszystkich komponentów, jakie wpływają na ugięcie okna. Poza tym, w praktyce inżynierskiej przyjmuje się, że obliczeniowe określenie zakresu stosowania ze względu na ugięcie jest uznawane za poprawne tylko wtedy, gdy metoda obliczeń charakteryzuje się błędem modelu nie większym niż 1,1 (czyli 10%). Obliczenia przeprowadzone metodą tradycyjną mogą funkcjonować jedynie w parze z badaniami laboratoryjnymi, gdyż tylko w tym przypadku można oszacować błąd modelu. W konsekwencji, dalsze obliczenia metodą tradycyjną będą obarczone wyznaczonym błędem, przy czym obliczenia te będą dotyczyły tylko i wyłącznie okna, które było przedmiotem badań. Zakres stosowania takich obliczeń jest bardzo niewielki, gdyż obejmuje jedynie modyfikację jednego parametru, tj. sztywności giętej zbrojenia bez możliwości określenia przyczyn powstania błędu modelu.

Ewidentne niedostatki metody tradycyjnej wymuszają potrzebę opracowania dokładniejszych metod obliczeń z wykorzystaniem różnych sposobów, w tym również metod

numerycznych. W pracy badawczej [4] prowadzonej w Instytucie Techniki Budowlanej opracowano model obliczeniowy z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES), który dokładnie odwzorowywał komponenty okna (profile PVC, zbrojenie, szyby, okucia, węzły). Przy znacznym nakładzie pracy (ze względu na złożoność konstrukcji okna) zbudowano model numeryczny, który dotyczył tylko i wyłącznie jednego typu okna z określonego systemu. Wynik obliczeń, jaki uzyskano, tj. ugięcie elementów nośnych od obciążenia wiatrem, był zbliżony do wyniku badań laboratoryjnych, jednak koszty obliczeń znacznie przewyższały koszty badań laboratoryjnych.

Ostatecznie w ITB zaprzestano dalszych prób opracowania uniwersalnego modelu z wykorzystaniem MES, a następne działania skierowano na udoskonalenie istniejących metod obliczeń przez korektę metody tradycyjnej. Numeryczne metody obliczeń zastosowano jedynie do modelowania niektórych fragmentów okna.

3. Skorygowana metoda obliczeń

Skorygowana metoda obliczeń polega na uściśleniu tradycyjnego sposobu wyznaczania ugięcia [5] przez wprowadzenie do obliczeń współczynników korekcyjnych. Są to bezwymiarowe zmienne, uwzględniające:

1. wpływ rozstawu wkrętów profilu zespolonego (PVC + stal),
2. wpływ węzła, tj. połączenia elementów nośnych okna (słupek, ślemię) z ościeżnicą,
3. wpływ skrzydeł okna wraz z szybami zespolonymi.

Współczynniki redukują błąd modelu metody tradycyjnej. Zakres korekty określony jest ogólną funkcyjną zależnością:

$$f_{res} = f_{cal}(\alpha_1;\alpha_2;\alpha_3) \approx f_{exp} \tag{1}$$

gdzie:

f_{res} - wynik obliczeń ugięć uzyskany skorygowaną metodą,

f_{cal} - wynik obliczeń ugięć uzyskany tradycyjną metodą,

f_{exp} - wynik badań,

α_1- współczynnik korekcyjny, uwzględniający wpływ rozstawu wkrętów profilu zespolonego,

α_2- współczynnik korekcyjny, uwzględniający wpływ węzła,

α_3- współczynnik korekcyjny, uwzględniający wpływ sztywności giętnej skrzydeł okna wraz z oszkleniem szybami zespolonymi.

Współczynniki korekcyjne stanowią funkcję odpowiednich parametrów. Każdy ze współczynników (niezależnie od pozostałych) zawiera takie parametry, które charakteryzują pewien fragment konstrukcji okna, tj.: profil zespolony, węzeł oraz skrzydło okna z szybą zespoloną.

Parametry charakteryzujące komponenty okna (tablica 1) zawarte są w trzech współczynnikach korekcyjnych: α_1, α_2, oraz α_3 (tablica 2).

Tablica 1

Przedziały wartości parametrów

Parametr	Oznaczenie	Wartości
Moment bezwładności zbrojenia	I_s	$2 \div 10\ cm^4$
Moment bezwładności profilu PVC	I_{PVC}	$10 \div 100\ cm^4$
Pole przekroju poprzecznego profilu PVC	A_{PVC}	$5 \div 10\ cm^2$
Podparcie węzła	a	$10 \div 50$ mm
Grubość obliczeniowa szkła szyby zespolonej	t	$4 \div 10$ mm
Rozstaw wkrętów profilu zespolonego	b	$250 \div 300$ mm
Rozpiętość obliczeniowa profilu zespolonego	L_0	$1200 \div 2500$ mm

Tablica 2

Definicje współczynników korekcyjnych i ich związek z parametrami

Nazwa współczynnika	Parametry	Zależność
α_1 - współczynnik wpływu wkrętów profilu zespolonego	I_s ; b; L_0	$\alpha_1 = \frac{f_{\alpha,1}(I_s;b;L_0)}{f_{cal}}$
α_2 - współczynnik wpływu węzła	I_s ; I_{PVC}, A_{PVC}; a	$\alpha_2 = \frac{f_{\alpha,2}(I_s;I_{PVC};A_{PVC},a)}{f_{cal}}$
α_3 - współczynnik wpływu szyb i skrzydła okna	I_s ; I_{PVC}; t	$\alpha_3 = \frac{f_{\alpha,3}(I_s;I_{PVC};t)}{f_{cal}}$

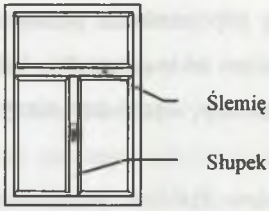
gdzie:

f_{cal} – ugięcie elementów nośnych okna wyznaczone metodą tradycyjną,

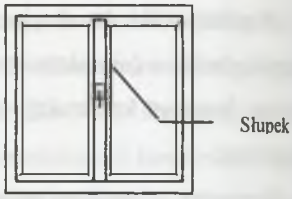
$f_{\alpha,1}$, $f_{\alpha,2}$, $f_{\alpha,3}$ – ugięcie elementów nośnych okna wyznaczone metodą numeryczną parametrów z uwzględnieniem wpływu odpowiednich parametrów.

Opis parametrów zestawionych w tablicy 1.

- Moment bezwładności zbrojenia (I_s), moment bezwładności profilu PVC (I_{PVC}) oraz pole przekroju poprzecznego profilu PVC (A_{PVC}) dotyczą elementów nośnych okna, takich jak ślemię (rygiel) w oknie dwurzędowym (rys.2) oraz słupek w oknie dwudzielnym (rys.3).

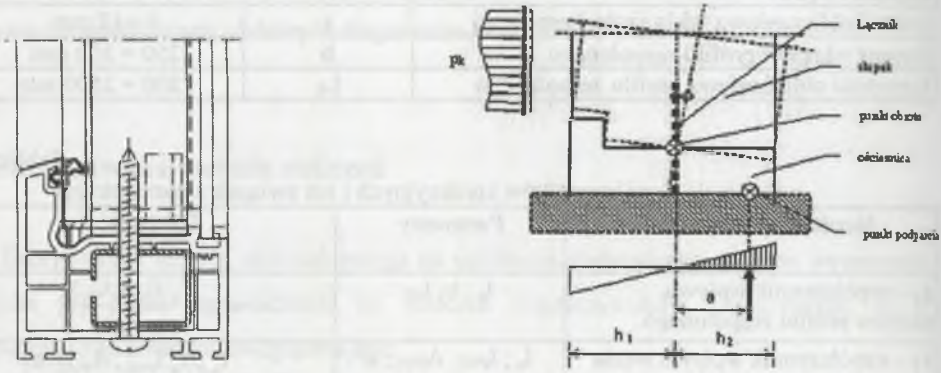


Rys. 2. Okno dwurzędowe
Fig. 2. Double-breasted window



Rys. 3. Okno dwudzielne
Fig. 3. Double-shased window

- Podparcie węzła (a) dotyczy węzła okna, i jest to odległość między punktem obrotu (występującym w miejscu osadzenia łącznika) a punktem podparcia (miejscem, gdzie występuje wypadkowa strefy docisku) – rys 4.



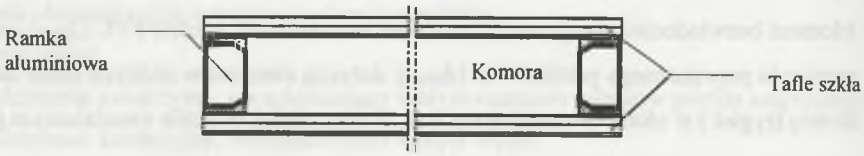
Rys. 4. Podparcie węzła
Fig. 4. Support of node

gdzie:

h_1, h_2 – skrajne odległości krawędzi profilu ościeżnicy od łącznika,

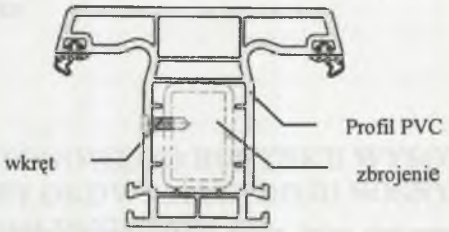
a – podparcie węzła.

- Grubość obliczeniowa szyby (t) – jest to patrametr, który zawiera grubości poszczególnych tafli szkła szyby zespolonej wraz z ramką aluminiową – rys.5.



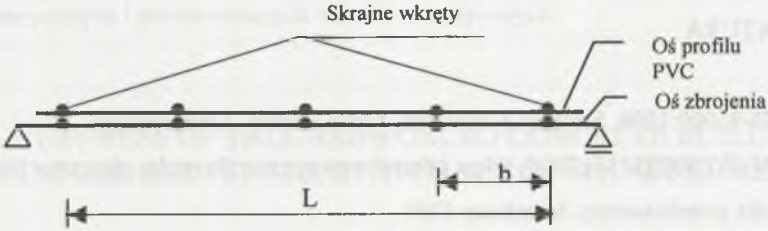
Rys. 5. Przekrój przez szybę zespoloną
Fig. 5. Cross section of insulatinf glass units

- Rozstaw wkrętów – jest to odległość pomiędzy wkrętami, za pośrednictwem których zbrojenie przytwierdzane jest do profilu PVC. Sposób połączenia profilu PVC i zbrojenia za pośrednictwem wkrętów przedstawia rys.6.



Rys. 6. Połączenie zbrojenia i profilu PVC
Fig. 6. Connection of reinforcment and PVC profile

- Rozpiętość obliczeniowa (L_0) jest to odległość pomiędzy skrajnymi wkrętami słupka lub ślemienia – rys. 7.



Rys. 7. Rozpiętość obliczeniowa
Fig. 7. Design span

Każdy ze współczynników ustalany jest analitycznie na podstawie obliczeń z wykorzystaniem zależności zestawionych w tablicy 2, w których ugięcia elementów nośnych ($f_{\alpha 1}$, $f_{\alpha 1}$ $f_{\alpha 1}$) wyznaczane są na podstawie obliczeń numerycznych z uwzględnieniem wymienionych wcześniej parametrów. Poszczególne fragmenty okna, takie jak: węzeł, szyba zespolona, połączenie profili PVC i zbrojenia, zostały zamodelowane Metodą Elementów Skończonych z użyciem modułu 3D. Wyznaczone współczynniki korekcyjne (α_1, α_2, α_3) w połączeniu z metodą tradycyjną wykorzystane są do ustalenia skorygowanej metody obliczeń. Ze względu na liczbę i zakres zmienności parametrów oraz skomplikowane funkcje opisujące ich wzajemne korelacje, wartości współczynników korekcyjnych zostały ujęte w tablicach i zamieszczone w pracy [6]. W celu sprawdzenia poprawności skorygowanej

metody obliczeń przeprowadzono badania weryfikacyjne na oknach różnego typu (dwudzielne, dwurzędowe), a następnie porównano je z wynikami obliczeń wykonanych metodą skorygowaną. We wszystkich analizowanych przypadkach rozbieżność wyników badań i obliczeń nie przekracza 10%.

4. Podsumowanie

Wykorzystanie w obliczeniach ugięć okien skorygowanej metody obliczeń pozwala na uzyskanie porównywalnych wyników badań. Taka właściwość metody obliczeń pozwala na istotne usprawnienie procesu oceny właściwości technicznych wyrobu, jakim jest okno PVC. Ponadto, dokładność obliczeń stwarza nowe możliwości w zakresie projektowania okien oraz optymalizacji ich konstrukcji.

LITERATURA

1. PN-B-91000:1996. Stolarka budowlana. Okna i drzwi. Terminologia.
2. PrEN (WI 00033231):2000. Okna i drzwi wewnętrzne dla ruchu pieszego. Norma wyrobu. Projekt przedstawiony do ankiety CEN.
3. Owczarek. K.: Okna i drzwi balkonowe. Zasady ustalania obciążeń badawczych – Zakład Badań Lekkich Przegród i Przeszkleń ITB. Opracowanie do użytku wewnętrznego.
4. Piekarczuk. A.: Weryfikacja obliczeniowa i badawcza oraz optymalizacja konstrukcji okien dwudzielnych systemu KBE AD ITB Praca nr NL-2779/P/04. - archiwum prac, Zakład Badań Lekkich Przegród i Przeszkleń ITB, Warszawa 2000.
5. Feldmeier F.: Schmid J.: Statische Nachweise bei Metall-Kunststoff-Verbundprofilen. Institut für Fenstertechnik e.V. Rosenheim - biblioteka ITB.
6. Piekarczuk A.: Metody obliczeń sztywności okien tworzywowych. Praca Naukowo – Badawcza nr NL-70/2005. Zakład Badań Lekkich Przegród i Przeszkleń ITB, Warszawa 2005.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Kubica, prof. Pol. Śl.