

Zbigniew Owczarek\*

## WPLYW RODZAJU OSZKLENIA OKIEN NA KONDENSACJĘ POWIERZCHNIOWĄ PARY WODNEJ

W artykule zanalizowano wpływ rozwiązań materiałowych ram okiennych oraz oszklenia na powierzchniową kondensację pary wodnej. W tym celu wykonano obliczenia najniższej temperatury na powierzchni najczęściej stosowanych w Polsce okien z drewna i PCW z różnym oszkleniem – za pomocą komputerowego programu THERM. Na podstawie tych obliczeń, doświadczeń laboratoryjnych oraz obserwacji w praktyce podano sposoby ograniczenia występowania kondensacji pary wodnej.

### 1. Wprowadzenie

Kondensacja pary wodnej, występująca na powierzchni okien od strony pomieszczenia, ogranicza kontakt wzrokowy z otoczeniem, zmniejsza przepuszczalność światła naturalnego, stwarza środowisko sprzyjające powstawaniu zagrzybienia i pleśni, a w przypadku materiałów pochodzenia organicznego (na przykład ram okiennych z drewna) powoduje ich butwienie.

Wykraplanie pary wodnej występuje wówczas, gdy temperatura na powierzchni okien jest niższa od punktu rosy  $t_s$  powietrza wewnętrznego. Punkt rosy  $t_s$  zależy od temperatury powietrza wewnętrznego  $t_i$  oraz jego wilgotności względnej  $j_i$  (patrz tablica 1).

Tablica 1. Przykładowe wartości punktu rosy przy różnej temperaturze i wilgotności powietrza w pomieszczeniu

Table 1. Example-values of dew-point at different temperature and moistures of air in room

Temperatura powietrza w pomieszczeniu, °C	Wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu, %	Punkt rosy °C
20	35	4,1
	45	7,7
	55	10,7

dr inż. – adiunkt w ITB

Wysoka wilgotność powietrza w pomieszczeniach jest spowodowana przede wszystkim niedostateczną wentylacją – wskutek stosowania szczelnych okien i braku otworów nawiewnych; sytuację może pogarszać niedogrzewanie lokali. Zła wentylacja występuje szczególnie w lokalach usytuowanych na najwyższych kondygnacjach – poddaszach z oknami połaciowymi, w których działanie wentylacji grawitacyjnej jest najmniej efektywne ze względu na małą długość kanałów wyciągowych.

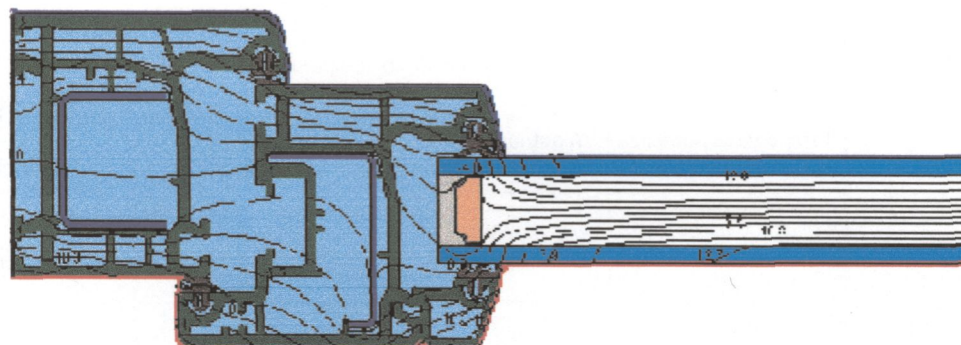
Temperatura na powierzchni okien zależy natomiast od rozwiązania konstrukcyjnego ram okiennych, rodzaju oszklenia oraz temperatury powietrza zewnętrznego  $t_e$ .

Temperatura powierzchni danego rozwiązania okna wraz z oszkleniem jest więc dla tego rozwiązania wielkością charakterystyczną, gdyż przy stałej wartości temperatury powietrza wewnętrznego zależy jedynie od temperatury powietrza zewnętrznego  $t_e$ . Dlatego na potrzeby artykułu wykonano symulację komputerową przepływu ciepła przez najczęściej stosowane w Polsce okna jednoramowe z PCW lub z drewna, a także drewniane okna połaciowe. Wyniki obliczeń komputerowych pozwoliły na znalezienie najniższej temperatury powierzchni w odniesieniu do różnych rozwiązań okien i określenie na tej podstawie wpływu różnych czynników na możliwość kondensacji oraz podanie środków eliminujących lub przynajmniej ograniczających występowanie kondensacji powierzchniowej pary wodnej na oknach. W ocenie wykorzystano również dokumentację różnych systemów okien, na które są wydawane aprobaty techniczne ITB, wyniki pomiarów laboratoryjnych przepływu ciepła przez okna i wyniki obserwacji prowadzonych w budynkach.

Ze względu na odmiennosć rozwiązań i wynikające stąd różne przyczyny powstawania i eliminacji, powierzchniową kondensację pary wodnej omówiono oddzielnie w przypadku okien jednoramowych i połaciowych.

## 2. Kondensacja pary wodnej na powierzchni okien jednoramowych

Rozpatrzono najczęściej stosowane w Polsce okna jednoramowe PCW oraz z drewna. Przekrój przez ramę okna z PCW pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Przekrój przez ramę okienną i oszklenie z naniesionymi liniami izoterm  
Fig. 1. Cross section through window frame and glazing with isothermal lines drawn

Analizę wpływu różnych czynników związanych z oszkleniem na temperaturę powierzchni okien przeprowadzono metodą symulacji komputerowej przepływu ciepła, stosując amerykański program THERM według metody elementów skończonych MES, pracujący pod systemem operacyjnym Windows. Za pomocą tego programu obliczono najniższą temperaturę na powierzchni wewnętrznej  $t_{\min}$  (od strony pomieszczenia) oraz temperaturę  $t_0$ , bez wpływu mostków cieplnych, przy temperaturze powietrza zewnętrznego  $t_e = (0, -10, -20) ^\circ\text{C}$  oraz współczynnika przenikania ciepła centralnego pola powierzchni szyb  $U_{0S} = (2,7; 1,8; 1,3 \text{ i } 1,0) \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 2. Ramy okien z trój- i dwukomorowych kształtowników PCW oznaczono numerem 1, a z drewna – numerem 2. Okna z szybą zespoloną jednokomorową 4/16/4 z aluminiową ramką dystansową oznaczono dodatkowo literą „a”, a z szybą dwukomorową o strukturze 4/12/3/12/4 literą „b”. Ponadto szybę zespoloną 4/16/4, w której aluminiową ramką dystansową zastąpiono ramką ze stali nierdzewnej, oznaczono literą „c”, a szybę 4/16/4 z ramką z tworzywa sztucznego o współczynniku przewodzenia ciepła 0,3 W/(m·K) – literą „d”.

Tablica 2. Wyniki obliczeń temperatury na powierzchni wewnętrznej oszklenia okien z drewna lub z PCW

Table 2. Calculation results of temperature on internal surface of glazing of windows with wood or PVC

$U_{0S}$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$t_e$ °C	$t_0$ °C	Temperatura powierzchni szyby od strony pomieszczenia $t_{\min}$ , °C, przy ramie okna nr					
			1a	2a	1b	1c	2c	1d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,7	0	13,0	10,4	10,6	–	11,0	11,1	12,6
	–10	9,5	5,6	5,9	–	6,5	6,6	8,9
	–20	6,0	0,7	1,2	–	1,9	2,2	5,2
1,8	0	15,3	11,1	11,3	12,1	11,8	11,9	13,8
	–10	13,0	6,7	7,0	8,1	7,7	7,9	10,7
	–10	10,6	2,2	2,7	4,1	3,6	3,9	7,6
1,3	0	16,6	11,5	11,8	12,5	12,2	12,4	14,4
	–10	15,0	7,2	7,6	8,8	8,3	8,6	11,6
	–20	13,3	3,0	3,5	5,0	4,4	4,7	8,7
1,0	0	17,4	11,7	12,0	12,8	12,4	12,6	14,7
	–10	16,1	7,5	7,9	9,1	8,7	8,9	12,0
	–20	14,8	3,4	3,9	5,5	4,9	5,2	9,4

Z kolumny 3 wynika, iż temperatura powierzchni wewnętrznej szyb  $t_0$  z dala od ram wzrasta wraz z poprawą izolacyjności cieplnej szyb, charakteryzowanej współczynnikiem

przenikania ciepła  $U_{0S}$  podanym w kolumnie 1. Przykładowo, zamiana szyby o  $U_{0S} = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  na szybę o  $U_{0S} = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  powoduje bardzo duży wzrost temperatury  $t_0$  z  $6,0 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $14,8 \text{ }^\circ\text{C}$  przy temperaturze powietrza zewnętrznego  $t_g = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zmiana taka jest bardzo korzystna, gdyż temperatura  $t_0$ , jak wykazały pomiary i obliczenia, występuje niemal na całej powierzchni szyb, pomniejszonej tylko o pole powierzchni pasa przylegającego do ramy o szerokości mniejszej niż  $10 \text{ cm}$ .

Badania wykazały, iż temperatura  $t_0$  może być nieco niższa w tych przypadkach, w których podczas produkcji szyb zespolonych przestrzeń międzyszybowa jest wypełniana gazem o temperaturze znacznie wyższej od temperatury eksploatacyjnej. Przestrzeń ta może się zmniejszać o kilka milimetrów wskutek podciśnienia wywołanego zmniejszeniem objętości gazu wypełniającego szczelnie zamkniętą przestrzeń międzyszybową; ma to szczególne znaczenie przy małych grubościach warstw gazowych ( $< 12 \text{ mm}$ ). Z tego względu w Polsce zaleca się stosowanie szyb z przestrzenią międzyszybową o grubości co najmniej  $16 \text{ mm}$ .

Temperatura powierzchni szyb w pasie przylegającym do ram zmienia się od  $t_0$  do najniższej (na styku szyby z ramą skrzydła – kolumna 4 i 5 tablicy 2), gdzie występuje początek kondensacji powierzchniowej pary wodnej na oknach jednoramowych oszklonych szybami zespolonymi. Dlatego poszukuje się sposobów na podwyższenie tej temperatury.

Z kolumny 4 i 5 tablicy 2 wynika, że najniższa temperatura jest o około  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  wyższa na oknach z ramami drewnianymi w stosunku do okien z ramami z PCW oszklonych szybą  $4/16/4$  o  $U_{0S} = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , ale gwałtownie spada z około  $10,5 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$  na obydwu rodzajach okien przy spadku temperatury powietrza zewnętrznego z  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Zwiększenie izolacyjności cieplnej szyb powoduje znaczący wzrost minimalnej temperatury ich powierzchni, na przykład  $t_{\min}$  wzrasta z  $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $3,6 \text{ }^\circ\text{C}$  przy poprawie  $U_{0S}$  z  $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  na  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  przy  $t_g = -20 \text{ }^\circ\text{C}$  (kolumny 4 i 5 tablicy 2).

Jeśli szybę jednokomorową  $4/16/4$  zastąpimy szybą dwukomorową  $4/12/3/12/4$ , to nastąpi wzrost  $t_{\min}$  o  $(0,8 + 2,0) \text{ }^\circ\text{C}$  (kolumny 4 i 6 tablicy 2). Podobny wzrost  $t_{\min}$  można osiągnąć, zastępując w szybie  $4/16/4$  ramkę aluminiową ramką ze stali nierdzewnej o współczynniku przewodzenia ciepła około 14 razy niższym.

Z powyższego omówienia wynika, że istotny wpływ na  $t_{\min}$  ma ramka dystansowa na obwodzie szyb zespolonych. Dlatego w celu określenia tego wpływu wykonano obliczenie, zakładając że ramka została wykonana z tworzywa o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Z kolumny 4 i 9 tablicy 2 wynika, iż ramka ta spowodowała duży wzrost  $t_{\min}$ , zawierający się w granicach od  $2,2 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $6,0 \text{ }^\circ\text{C}$  przy zmieniających się  $t_g = (0 + -20) \text{ }^\circ\text{C}$  i  $U_{0S} = (1,0 + 2,7) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Następny sposób na podwyższenie  $t_{\min}$  może polegać na osłonięciu ramki aluminiowej materiałem gorzej przewodzącym ciepło. Osłonięcie to może być zrealizowane przez większe zagłębienie szyby w ramie okna.

W tablicy 3 podano wyniki obliczeń temperatury na wewnętrznej powierzchni szyby zespolonej  $4/16/4$  o  $U_{0S} = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , przy trzech różnych głębokościach osadzenia szyby w ramie:  $(10, 15, 20) \text{ mm}$  i przy temperaturze powietrza zewnętrznego  $t_g = (0, -10, -20) \text{ }^\circ\text{C}$ . Zwiększenie głębokości tego osadzenia w ramie z  $10 \text{ mm}$  na  $20 \text{ mm}$  powoduje duży wzrost  $t_{\min}$ , bo aż o  $(2,6 + 5,2) \text{ }^\circ\text{C}$  w przypadku  $t_g = (0 + -20) \text{ }^\circ\text{C}$  i  $U_{0S} = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  – kolumna 4 tablicy 3.

Tablica 3. Wyniki obliczeń temperatury na powierzchni wewnętrznej okna z PCW  
 Table 3. Calculation results of temperature on internal surface of windows with PVC

$t_e$ °C	Głębokość osadzenia szyby w ramie, mm	Temperatura $t_0$ , °C dla $t_i = 20$ °C	Temperatura wewnętrznej powierzchni szyby przy ramie okna, $t_{min}$ , dla $t_i = 20$ °C
1	2	3	4
0	10	16,6	10,3
	15		11,8
	20		12,9
-10	10	15,0	5,5
	15		7,6
	20		9,4
-20	10	13,3	0,7
	15		3,5
	20		5,9

Jeszcze inny sposób podwyższenia  $t_{min}$  polega na podgrzaniu powietrza wewnętrznego opływającego okno, na przykład przez umieszczenie pod nim grzejnika, i wykonanie otworów lub osłon regulacyjnych w podokiennym parapecie. W wyniku takiego działania zmaleje wilgotność względna powietrza, a temperatura powietrza przy oknie może wzrosnąć o 3 °C, co spowoduje podwyższenie  $t_{min}$  o (1,6 + 2,0) °C.

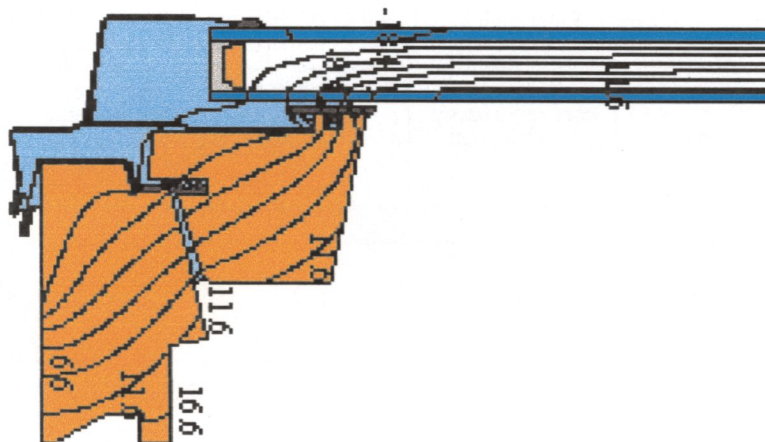
W przypadku wykorzystania jednocześnie dwóch wyżej wymienionych sposobów można uzyskać  $t_{min} = 11,4$  °C – na oknie z PCW oszklonym szybą 4/16/4 o  $U_{0S} = 1,3$  W/(m<sup>2</sup>·K). Świadczy to o tym, że na oknie nie będzie występować powierzchniowa kondensacja pary wodnej, jeśli temperatura powietrza zewnętrznego nie będzie niższa niż -10 °C, a wilgotność względna powietrza przy oknie w pomieszczeniu nie będzie wyższa niż 48%.

### 3. Kondensacja pary wodnej na powierzchni okien połaciowych

Okna połaciowe różnią się od okien zwykłych między innymi sposobem osadzenia i uszczelnienia szyby w dolnej poziomej ramie. Dlatego rozpatrzono tylko dolną ramę okna połaciowego z drewna, którą pokazano na rysunku 2.

Ramę okna ze standardową szybą zespoloną jednokomorową 4+4/16 o współczynniku przenikania ciepła  $U_{0S} = 2,7$  W/(m<sup>2</sup>·K) oznaczono numerem 3, a z oszkleniem termoizolacyjnym 4+4/16 o  $U_{0S} = 1,2$  W/(m<sup>2</sup>·K) – numerem 4.

Podobnie jak w p. 2 ramę okna z szybą zespoloną jednokomorową 4/16/4 z aluminiową ramką dystansową oznaczono dodatkowo literą „a”, z ramką ze stali nierdzewnej – literą „c”, a z ramką tworzywową o współczynniku przewodzenia ciepła 0,25 W/(m·K) – literą „d”.



Rys. 2. Przekrój przez ramę okna połaciowego i przez oszklenie z naniesionymi izotermami  
 Fig. 2. Cross section through roof window frame and through glazing with isothermal lines drawn

Ponadto wprowadzono następujące modyfikacje, oznaczone kolejnymi literami:

- skrócono o 20 mm obróbkę blacharską podszybową – „e”,
- zastąpiono obróbkę blacharską podszybową obróbką z tworzywa sztucznego – „f”,
- zastąpiono obróbkę blacharską osłaniającą ościeżnicę od góry obróbką z tworzywa sztucznego – „g”,
- zastąpiono obróbkę blacharską osłaniającą szybę od góry obróbką z tworzywa sztucznego – „h”,
- wypełniono miękką pianką poliuretanową przestrzeń między dolną krawędzią szyby i obróbką tworzywową podszybową oraz nadszybową – „i”,
- wprowadzono drugie uszczelnienie w przyśmyku okna od strony pomieszczenia – „j”.

Analizę wpływu różnych czynników na temperaturę powierzchni okien przeprowadzono identyczną metodą obliczeniową, jak w poprzednim punkcie. Za pomocą programu THERM obliczono temperaturę powierzchniową w czterech następujących miejscach, przy temperaturze powietrza zewnętrznego  $t_e = 0\text{ °C}$  i  $t_e = -20\text{ °C}$ :

- $t_1$  – na szybie od strony pomieszczenia przy uszczelce osadczącej tej szyby,
- $t_2$  – w przyśmyku na uszczelce przylgowej od strony pomieszczenia,
- $t_3$  – na styku obróbki blacharskiej podszybowej z szybą,
- $t_4$  – na dolnej krawędzi szyby wewnętrznej.

Wyniki obliczeń temperatury  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  i  $t_4$  przy zmianie współczynnika  $U_{0S}$  szyby i rodzaju ramek międzyszybowych zestawiono w tablicy 4. Natomiast w tablicy 5 przedstawiono wyniki obliczeń temperatury w odniesieniu do okna nr 4 z termoizolacyjną szybą zespoloną przy zmianie obróbek blacharskich, wypełnieniu materiałem termoizolacyjnym przestrzeni powietrznej między obróbkami pod- i nadszybową oraz przy wzroście temperatury powietrza wewnętrznego o  $3\text{ °C}$  – litera „k”.

Tablica 4. Wpływ izolacyjności cieplnej oszklenia na temperaturę powierzchni okien  
 Table 4. Influence of thermal insulation of glazing on surface temperature of windows

W/(m <sup>2</sup> ·K)	Rama okna nr oraz rodzaj materiału ramki międzyszybowej	t <sub>g</sub> °C	Temperatura			
			t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>
2,7	3a aluminium	0	9,6	5,7	5,5	2,8
		-20	-0,8	-8,5	-9,0	-14,4
	3c stal nierdzewna	0	9,7	5,8	5,6	3,1
		-20	-0,7	-8,4	-8,7	-13,8
	3d tworzywo sztuczne	0	9,8	5,9	5,9	3,7
		-20	-0,4	-8,2	-8,1	-12,5
1,2	4a aluminium	0	11,6	5,9	6,0	3,0
		-20	3,3	-8,2	-7,9	-13,9
	4c stal nierdzewna	0	11,7	5,9	6,2	3,4
		-20	3,5	-8,1	-7,6	-13,3
	4d tworzywo sztuczne	0	12,0	6,1	6,6	4,2
		-20	4,0	-7,8	-6,8	-11,6

Z tablicy 4 wynika, iż zastąpienie aluminiowej ramki dystansowej w szybie zespolonej standardowej lub termoizolacyjnej 4+4/16 ramką wykonaną ze stali nierdzewnej lub z tworzywa sztucznego podwyższa temperaturę t<sub>1</sub> i t<sub>4</sub> w nieznacznym stopniu.

Zastąpienie szyby zespolonej standardowej (U<sub>0S</sub> = 2,7 W/(m<sup>2</sup>·K)) szybą termoizolacyjną o tej samej strukturze 4+4/16 (U<sub>0S</sub> = 1,2 W/(m<sup>2</sup>·K)) powoduje istotne podwyższenie temperatury t<sub>1</sub> na powierzchni wewnętrznej szyby przy ramie skrzydła okna o około 2 °C przy t<sub>g</sub> = 0 °C i o około 4 °C przy t<sub>g</sub> = -20 °C. Taka zamiana szyb nie tylko polepsza izolacyjność cieplną całego okna, ale ma istotny wpływ na ograniczenie występowania powierzchniowej kondensacji pary wodnej. W związku z tym do dalszej analizy brano pod uwagę okna tylko z oszkleniem termoizolacyjnym (tablica 5).

Z tablicy 5 wynika, że wprowadzane kolejne modyfikacje ram okiennych powodują różny wzrost temperatury powierzchniowej t<sub>1</sub> i t<sub>2</sub>. Skrócenie obróbki blacharskiej podszybowej o 20 mm powoduje wzrost temperatury t<sub>1</sub> o około 1,1 °C w porównaniu z rozwiązaniem oryginalnym przy t<sub>g</sub> = 0 °C i 2,2 °C przy t<sub>g</sub> = -20 °C. Zastąpienie podszybowej obróbki blacharskiej obróbką z tworzywa sztucznego powoduje jeszcze większy wzrost temperatury t<sub>1</sub>: do 13,3 °C przy t<sub>g</sub> = 0 °C i do 6,6 °C przy t<sub>g</sub> = -20 °C. Zastąpienie obróbki blacharskiej nadszybowej i nadościeżnicowej nie powoduje znaczącego wzrostu temperatury t<sub>1</sub> w porównaniu do rozwiązania z obróbką podszybową z tworzywa sztucznego, ale wzrasta temperatura t<sub>2</sub> o 1,5 °C przy t<sub>g</sub> = 0 °C i o 3,1 °C przy t<sub>g</sub> = -20 °C.

Tablica 5. Wartości temperatury  $t_1-t_4$  dla innych rozwiązań okien  
 Table 5. Values of temperature  $t_1-t_4$  for other solutions of windows

Fragment okna nr... i jego modyfikacja	$t_e, ^\circ\text{C}$	Temperatura			
		$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$
4ae, skrócona obróbka blacharska podszybowa o 20 mm	0	12,7	5,6	3,5	2,8
	-20	5,5	-8,7	-13,0	-14,5
4af, obróbka podszybowa z tworzywa sztucznego	0	13,3	6,4	10,3	4,0
	-20	6,6	-7,3	0,5	-12,1
4afg, jw. oraz obróbka osłaniająca ościeżnicę z tworzywa sztucznego	0	13,4	7,8	10,5	4,3
	-20	6,8	-4,5	0,0	-11,5
4afgh, jw. oraz obróbka nadszybowa z tworzywa sztucznego	0	13,5	7,9	10,6	4,6
	-20	7,0	-4,2	1,3	-10,9
4afghi, jw. oraz pianka poliuretanowa między szybą i obróbkami nad- i podszybowa	0	13,8	9,3	12,4	4,6
	-20	7,6	-1,4	4,8	-10,8
4aeghij, jw. oraz drugie uszczelnienie w przyśmyku okna	0	13,8	14,8	12,4	4,6
	-20	7,6	9,6	4,8	-10,8
4afghijk, jw. oraz $t_1 = 23 ^\circ\text{C}$	0	15,9	17,0	14,2	5,3
	-20	9,7	11,8	6,6	-10,1
4dfghijk, jw. oraz ramka międzyszybowa z tworzywa sztucznego	0	16,8	17,2	15,7	9,1
	-20	11,5	12,2	9,4	-3,0

Wypełnienie przestrzeni powietrznej między dolną częścią szyby zespolonej i obróbkami nad- i podszybowa powoduje niewielki przyrost w temperatury  $t_1$  (0,5 °C i 1,0 °C), ale duży przyrost temperatury  $t_2$  (o 2,9 °C przy  $t_e = 0 ^\circ\text{C}$  i o 5,9 °C przy  $t_e = -20 ^\circ\text{C}$  w porównaniu do rozwiązania z obróbką podszybowa z tworzywa sztucznego. Mimo tak znaczącego przyrostu temperatura  $t_2$  jest niska, gdyż przy  $t_e = -20 ^\circ\text{C}$  wynosi -1,4 °C.

W celu podwyższenia temperatury  $t_2$  wprowadzono drugie uszczelnienie, usytuowane w przyśmyku okna od strony pomieszczenia. Ta modyfikacja spowodowała duży wzrost temperatury  $t_2$ , gdyż wynosi ona 14,8 °C przy  $t_e = 0 ^\circ\text{C}$  i 9,6 °C przy  $t_e = -20 ^\circ\text{C}$ .

Jeszcze inny sposób podwyższający temperaturę  $t_1$  i  $t_2$  polega na podgrzewaniu powietrza wewnętrznego stykającego się z oknem na przykład przez umieszczenie pod nim grzejnika. W wyniku takiego działania zmaleje wilgotność względna powietrza, a temperatura powietrza przy oknie może wzrosnąć o 3 °C, co spowoduje dalsze podwyższenie temperatury  $t_1$  do 15,9 °C przy  $t_e = 0 ^\circ\text{C}$  i do 9,7 °C przy  $t_e = -20 ^\circ\text{C}$  oraz temperatury  $t_2$  do 17 °C przy  $t_e = 0 ^\circ\text{C}$  i do 11,8 °C przy  $t_e = -20 ^\circ\text{C}$ .



W przypadku wykorzystania jednocześnie wszystkich wyżej wymienionych sposobów można uzyskać minimalną temperaturę na powierzchni okna, wynoszącą około 11,5 °C. Świadczy to o tym, że na oknie nie będzie występować powierzchniowa kondensacja pary wodnej nawet przy niskiej temperaturze powietrza zewnętrznego, wynoszącej -20 °C, jeśli wilgotność względna powietrza przy oknie w pomieszczeniu nie będzie wyższa niż 48%.

#### 4. Wnioski

Na oknach jednoramowych – podczas znacznych spadków temperatury powietrza zewnętrznego w okresie zimowym – należy się liczyć z kondensacją pary wodnej na powierzchni wewnętrznej szyb, szczególnie w pobliżu ram skrzydeł.

Główną przyczyną kondensacji jest powszechnie stosowana na obwodzie szyb zespolonych ramka aluminiowa bardzo dobrze przewodząca ciepło i stanowiąca mostek termiczny. Z tych względów nie można technologii produkcji szyb zespolonych, ale można ją skutecznie ograniczyć, wykorzystując między innymi zalecenia przedstawione w p. 2.

Na oknach połaciowych, szczególnie w dolnej części ramy skrzydła, także należy się liczyć z kondensacją pary wodnej na powierzchni wewnętrznej szyb i na uszczelce przylgowej w przymyku.

Dodatkowymi przyczynami kondensacji na powierzchni okien połaciowych – oprócz wymienionych w odniesieniu do okien jednoramowych – są obróbki blacharskie wnika-jące w głąb ramy oraz brak drugiego uszczelnienia w przymyku.

Powierzchniową kondensację pary wodnej można skutecznie ograniczyć, wykorzystując między innymi zalecenia przedstawione w p. 3, przede wszystkim zasadę stosowania ram i szyb o wysokich i mało zróżnicowanych miejscowych oporach cieplnych.

#### INFLUENCE OF KIND OF WINDOWS GLAZING ON SUPERFICIAL WATER VAPOUR CONDENSATION

##### Summary

The paper deals with analysis of influence of material of window frames and type of glazing, as well as the solution of details on superficial water vapour condensation. With this aim, the lowest temperatures on surface of windows most often used in Poland (of wood and PVC) with different types of glazing have been calculated using THERM computer programme. On the basis of calculation results, and experience gained in laboratory tests and practical observations, ways of limitation of water vapour condensation occurrence are given.

*Praca wpłynęła do Redakcji 16 VII 2003*