

# Pomiary odchyłki płaskości powierzchni swobodnej z użyciem systemu wizyjnego

## Measurements of surface flatness distortions using machine vision inspection system

ANNA ZAWADA-TOMKIEWICZ  
DARIUSZ TOMKIEWICZ  
LESŁAW WILK\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.12.196>  
English version available on: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl)

Zaprezentowano zastosowanie systemu wizyjnego do oceny zniekształceń płaskości szkła bezpiecznego float poddanego hartowaniu termicznemu w procesie poziomym. Sprawdzono możliwość oceny parametrów takich jak wypukłość całkowita i lokalna dla tafli szkła pobranej z produkcji.

**SŁOWA KLUCZOWE:** szkło float, termicznie hartowane bezpieczne szkło sodowo-wapniowo-krzemianowe, wypukłość lokalna, wypukłość całkowita

*The use of a vision system for evaluating the flatness distortion of float glass under thermal treatment in a horizontal process is presented. The possibility of evaluation of such parameters as overall bow, roller wave and edge lift was analyzed for a pane of glass taken from production.*

**KEYWORDS:** float glass, thermally toughened soda lime silicate safety glass, overall bow, roller wave distortion, edge lift

Problemem rozpoznaniem w pracy było zastosowanie systemu wizyjnego do oceny płaskości hartowanego termicznie szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego. Właściwości takiego szkła zostały zdefiniowane w normach PN-EN 12150-1 i PN-EN 12150-2. Głównym wymogiem wobec hartowanego termicznie szkła, przeznaczonego do zastosowania w architekturze, jest to, żeby wizualnie nie wykazywało żadnych zniekształceń. Poddanie szkła EN 572-1 i EN 572-2 obróbce cieplnej sprawia, że staje się ono bezpieczne, ale jednocześnie powstają w nim zniekształcenia.

Wspomniane normy [1÷4] rozpoznają dwa zestawy założeń w zależności od sposobu obróbki cieplnej:

- dla procesu poziomego (w którym szkło jest podparte na rolkach poziomych) – wypukłość całkowita (overall bow) i wypukłość lokalna (roller wave, edge lift),
- dla pionowego procesu hartowania (w którym szkło jest zawieszane) – wypukłość całkowita i lokalna.

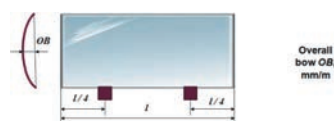
### Klasyczna metoda pomiaru płaskości powierzchni

Norma PN-EN 12150-1 definiuje wypukłość całkowitą i lokalną (miejscową) szkła (rys. 1).

Do oceny wypukłości całkowitej szkła ustawia się tafle szkła na dłuższym boku w pozycji pionowej na dwóch podporach. Następnie mierzy się szczylinomierzem maksymalną odległość liniału od wklęsłej powierzchni szkła. Miarą wypukłości całkowitej jest wartość tej odległości podzielona przez długość przekątnej lub boku (w zależności od tego, gdzie występuje).

Wypukłość lokalną szkła ocenia się równoległe do każdego obrzeża w części środkowej tafli (roller wave)

i w odległości 25 mm od obrzeża (edge lift). W obydwóch przypadkach wypukłość lokalna oceniana jest na długości 300 mm. Należy zaznaczyć, że wypukłość lokalna typu roller wave jest charakterystyczna dla poziomego procesu termicznego hartowania. Maksymalne dopuszczalne wartości wypukłości całkowitej i lokalnej zestawiono na rys. 1.



Typ szkła	Grubość szkła, mm	Wypukłość całkowita – overall bow (OB), mm/m
Szkło niepowlekane float EN 572-1	3,0	3,0
	4,0÷5,0	
	6,0÷25,0	
Inne	wszystkie	4,0



Typ szkła	Grubość szkła, mm	Wypukłość lokalna – roller wave (RW), mm
Szkło niepowlekane float EN 572-1	3,0	0,3
	4,0÷5,0	
	6,0÷25,0	
Inne	wszystkie	0,5



Typ szkła	Grubość szkła, mm	Wypukłość lokalna – edge lift (EL), mm
Szkło niepowlekane float EN 572-1	3,0	0,3
	4,0÷5,0	
	6,0÷25,0	
Inne	wszystkie	0,4

Rys. 1. Zniekształcenia płaskości powierzchni tafli hartowanego termicznie szkła

### Procedura pomiaru powierzchni swobodnej systemem wizyjnym

Głównym celem projektowania systemu wizyjnego jest ocena płaskości szkła bezpośrednio po obróbce cieplnej z zamiarem dostarczenia informacji dla operatora pieca, czy warunki obróbki cieplnej zostały prawidłowo dobrane. Parametry uzyskane z użyciem systemu wizyjnego mają wspierać proces obróbki cieplnej i następujący po nim proces łączenia szkła warstwowego.

W takim przypadku głównym założeniem do opracowania systemu jest zastosowanie metod pomiaru online, bez interwencji operatora i bez zakłócania przebiegu procesu. Drugie założenie opiera się na zastosowaniu metody optycznej, co oznacza, że pomiar jest bezstykowy, szybki, a jednocześnie nie jest destrukcyjny dla mierzonego

\* Dr hab. inż. Anna Zawada-Tomkiewicz prof. nadzw (anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl), prof. dr hab. inż. Dariusz Tomkiewicz (dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl), Lesław Wilk (leslaw.wilk@tu.koszalin.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

przedmiotu. Najważniejsze jest jednak to, że klasyczny pomiar dokonywany jest jedynie na małej próbce danych, natomiast wykorzystanie systemu wizyjnego umożliwia pomiar i ewaluację całego asortymentu produkcji.

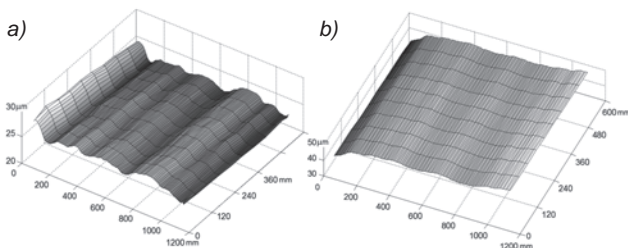
Aby zweryfikować koncepcję metody pomiaru, opracowano wizyjny system pomiarowy. Jest to urządzenie prototypowe, które po zbadaniu i kalibracji będzie używane w przemyśle. Zestaw laboratoryjny składa się z przenośnika taśmowego, na którym umieszczono tafłę szkła, systemu oświetleniowego, kamery cyfrowej z systemem optycznym oraz komputera do pozyskiwania i przetwarzania danych. System sterowania przenośnika taśmowego umożliwia przemieszczenie tafli szklanej i jej pozycjonowanie z dokładnością do 0,1 mm. Tafłę szklaną oświetlano specjalnie zaprojektowanym systemem oświetlenia, a następnie analizowano światło odbite i na tej podstawie określano położenie punktu w przestrzeni.

### Wyniki pomiaru i ich analiza

Do kontroli tafli szkła hartowanego wykorzystano system wizyjny. Dzięki zastosowaniu metod przetwarzania obrazów możliwe było uzyskanie chmury punktów powierzchni swobodnej, a następnie jej modelu oraz wartości odchyłek – wypukłości całkowitej i lokalnej.

Zanim jednak przeprowadzono pomiary w celu zweryfikowania przydatności systemu, oceniono jego zdolność pomiarową. Użyto do tego „bardzo płaskiej” tafli szyby. Była to próba przygotowana ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego przed obróbką cieplną. Wymóg dla szkła polegał na tym, że odchylenie standardowe każdego ocenianego parametru było mniejsze niż ustalony próg danej tolerancji. Porównanie dla poszczególnych parametrów odchyłek mierzonych poziomo przeprowadzono według procedury MSA. Zgodnie z procedurą, aby system miał zdolność pomiarową: liczba kategorii danych  $ndc > 5$ , a wskaźnik powtarzalności i odtwarzalności  $\%GRR < 10\%$  dla każdego wyznaczonego parametru.

Stwierdzono, że system ma odpowiednią zdolność pomiarową, gdyż dla wypukłości całkowitej  $ndc = 8,1$  i  $\%GRR = 9\%$ , dla *roller wave*  $ndc = 8$  i  $\%GRR = 1\%$ , a dla *edge lift*  $ndc = 5,1$  i  $\%GRR = 1\%$ .



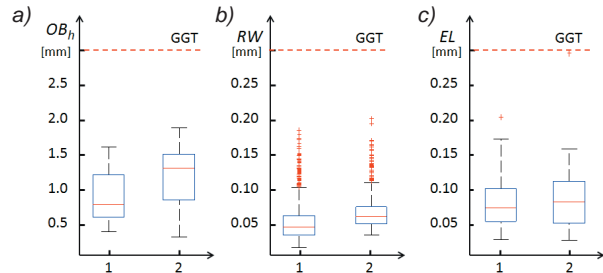
Rys. 2. Przykład surowych danych pomiarowych tafli hartowanego termicznie szkła o grubości 6 mm pobranych w pozycji poziomej: a) w położeniu wyjściowym z pieca, b) w położeniu odwrotnym

Główną ideą opracowanego systemu wizyjnego była możliwość oceny płaskości szkła hartowanego bezpośrednio po zakończeniu procesu. Ważne było użycie systemu w sytuacji, gdy parametry procesu lub szkła ulegały zmianie. Pomiaru dokonano w pozycji poziomej, tak jak przepływają szyby w rzeczywistym procesie. Nie zachowano więc wszystkich warunków pomiaru dla wypukłości całkowitej. Stąd pojawiła się konieczność porównania wyników pomiaru przedmiotu w dwóch położeniach poziomych – w układzie wyjściowym z pieca (a) i w układzie odwrotnym (b na rys. 2).

Zmierzone dane powierzchni tafli szkła zostały przeanalizowane w celu obliczenia trzech parametrów odchyłek

– wypukłości ogólnej mierzonej w pozycji poziomej szkła  $OB_h$ , odchyłki lokalnej *roller wave* (RW) i odchyłki lokalnej *edge lift* (EL).

Z zamieszczonych na rys. 3 wykresów wynika, że w przypadku wypukłości całkowitej wyniki różnią się, natomiast w przypadku odchyłki lokalnej ułożenie poziome nie wpływa znacząco na wartości parametrów. Zestawienie wyników pomiaru wykonanego metodą optyczną (chmura danych pomiarowych dla całej tafli szkła) oraz pomiarów odniesienia (pojedynczych pomiarów stykowych) zamieszczono w tablicy.



Rys. 3. Powtarzalność pomiarów: a)  $OB_h$ , b) RW, c) EL w układzie poziomym (patrz rys. 2 a i b)

TABLICA. Zestawienie wyników pomiaru (grubość szkła 6 mm)

Odchylenie płaskości	Wartość maksymalna	Pomiar metodą klasyczną	Pomiar z wykorzystaniem systemu wizyjnego w pozycji poziomej szkła	
			w położeniu wyjściowym z pieca	w układzie odwrotnym
<i>Overall bow</i> mm/m	3,0	1,71	1,4210	2,2117
<i>Roller wave distortion</i> , mm	0,3	0,14	0,1520	0,1355
<i>Edge lift</i> , mm	0,3	0,14	0,2883	0,1812

### Podsumowanie

Szkoło architektoniczne jest produkowane w dużych taflach. Podczas obróbki cieplnej, gdy nabiera pewnych pożądanych właściwości, jednocześnie powstają w nim wypukłości całkowite i lokalne.

Ocena płaskości bezpiecznego płaskiego szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego została rozpoznana przez normy [1–4], które podają maksymalną dozwoloną wartość zniekształceń.

Zaproponowany system wizyjny pozwolił na oszacowanie odchyłki całkowitej oraz odchyłki lokalnej. Bez założenia rozkładu statystycznego dla odchyłek powierzchni stwierdzono, że z prawdopodobieństwem 75% dana partia produkcji nie przekroczy wartości maksymalnej odchyłki, zdefiniowanej w normach i na rys. 1. Wyniki uzyskane w badaniach potwierdzają możliwość zastosowania opracowanego wizyjnego systemu pomiarowego w środowiskach przemysłowych.

### LITERATURA

- PN-EN 12150-1:2015 Szkło w budownictwie – Termicznie hartowane bezpieczne szkło sodowo-wapniowo-krzemianowe – Część 1: Definicja i opis.
- PN-EN 12150-2:2004 Szkło w budownictwie – Termicznie hartowane bezpieczne szkło sodowo-wapniowo-krzemianowe – Część 2: Ocena zgodności wyrobu z normą.
- PN-EN 572-1:2012+A1:2016-03 Szkło w budownictwie – Podstawowe wyroby ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego – Część 1: Definicje oraz ogólne właściwości fizyczne i mechaniczne.
- PN-EN 572-2:2012 Szkło w budownictwie – Podstawowe wyroby ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego – Część 2: Szkło float.
- GGF Datasheet for the Quality of Thermally Toughened Soda Lime Silicate Safety Glass for Building. [www.ionglass.co.uk](http://www.ionglass.co.uk).