

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **223324**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **400990**

(51) Int.Cl.  
**C03B 5/235 (2006.01)**  
**C03B 5/24 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **01.10.2012**

(54)

**Sposób kontroli opalania pieca szklarskiego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**14.04.2014 BUP 08/14**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.10.2016 WUP 10/16**

(73) Uprawniony z patentu:

**TECHGLASS SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ  
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ANDRZEJ SKOWINIAK, Kraków, PL**  
**PAWEŁ ROTTER, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Alina Magońska**

**PL 223324 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób kontroli opalania pieca szklarskiego w oparciu o obraz termiczny wnętrza pieca szklarskiego, szczególnie pieca wannowego typu wanna U-płomienna, przy wykorzystaniu kolorowej kamery pracującej w paśmie widzialnym.

Proces technologiczny produkcji szkła przebiega w ściśle określonych warunkach temperaturowych, które powinny być utrzymywane w możliwie wąskim zakresie. Badania i pomiary temperatury wewnątrz pieca szklarskiego są narzędziem dla sterowania procesem w sytuacji zaburzeń technologicznych a także do bieżącej kontroli cyklu produkcyjnego.

Do kontroli ciągów produkcji szkła wykorzystywane są termowizyjne metody badania pól temperaturowych. Na podstawie rozkładu temperatury na powierzchni lustra topionego szkła lub ich zmian w czasie można wnioskować o zachodzących zjawiskach.

W wielu istniejących rozwiązaniach termowizyjny monitoring procesów produkcji szkła wykonywany jest za pomocą kamer termalnych, działających w zakresie bliskiej i dalekiej podczerwieni.

Badania termowizyjne obejmują pomiar i zobrazowanie promieniowania podczerwonego pochodzącego z badanego obiektu. Kamera umożliwia cyfrową rejestrację rozkładu temperatur badanego obiektu. Tak powstała mapa temperatur jest następnie interpretowana graficznie, tzn. każdej temperaturze przypisywana jest inna barwa, dzięki czemu widziany jest termalny obraz obiektu. Zapisywane dane w praktyce są mapą temperatur obiektu, Wygląd obiektu zależy od przyjętej skali barw oraz jej relacji do skali temperatur. Ponadto, możliwa jest analiza termogramów, np. wykreślanie izoterm, określanie rozkładu temperatur wzdłuż dowolnego profity, tworzenie histogramów, pobieranie danych z termogramu bezpośrednio do wykonywania obliczeń.

Jednak ze względu na wysoką cenę kamer termowizyjnych i trudne warunki pracy we wnętrzu pieca szklarskiego, stosowane są rozwiązania umożliwiające wykorzystanie kamer wizyjnych, które są używane do analizy rozmieszczenia zestawu (niestopionego surowca) wewnątrz pieca.

W brytyjskim opisie patentowym GB 2 115 142 A przedstawiony jest sposób kontroli względnych ilości szkła niestopionego na szkło stopionym, za pomocą metody analizy obrazu. Metoda ta charakteryzuje się zastosowaniem kamery piecowej do optycznej kontroli i wizualnej oceny stałości obrazu zestawu szklarskiego w odniesieniu do typowych zmiennych warunków procesu. Umożliwia to kontrolę stałych proporcji powierzchni, nie pozwala natomiast ani na pomiar i regulację rozkładu niestopionego szkła przy użyciu wartości liczbowych zbliżonych do rzeczywistych, ponieważ sposób analizy obrazu jest na to zbyt niedokładny i opiera się jedynie na prostym rozróżnieniu jasności.

W opisie patentowym PCT/EPO1/14665 przedstawiony jest sposób regulacji parametrów kąpieli szklanej w wannach szklarskich na podstawie mierzonego optycznie udziału pokrycia i rozkładu pokrycia powierzchni kąpieli szklanej bryłami niestopionego szkła.

Dla rozróżnienia powierzchni kąpieli szklanej pokrytych bryłami niestopionego szkła i powierzchni wolnych od brył niestopionego szkła, na dowolnie wybranym fragmencie powierzchni kąpieli szklanej, wykorzystuje się metodę przetwarzania obrazu, która rozróżnia na powierzchni kąpieli szklanej punkty o różnej jasności i rejestruje je wierszowo zależnie od udziału w powierzchni.

We fragmencie obrazu, który obejmuje w przybliżeniu powierzchnię kąpieli szklanej w strefie topienia wanny szklarskiej, wyznacza się pokrycie bryłami niestopionego szkła, jako sumę powierzchni brył niestopionego szkła, przy czym iloraz powierzchni brył w odniesieniu do stałej powierzchni kąpiel szklanej w wannie szklarskiej stanowi pokrycie bryłami niestopionego szkła.

Za pomocą analizy obrazu wyznacza się powierzchnię luźnego pokrycia bryłami niestopionego szkła jako pole wierszy, które zawiera punkty zarówno w klasie jasności o kryterialnie zróżnicowanych wartościach, jak też w alternatywnej klasie ciemności. Następnie wyznacza się iloraz liczby ciemnych punktów obrazu do liczby punktów wierszy i określa się liniowy przyrost pokrycia bryłami niestopionego szkła, zaś stałą przyrostu pokrycia przyjmuje się jako funkcję numeru wiersza obrazu, we wzdłużnej osi wanny i przeciwnie do strumienia odbieranego.

Kryterialną wartość progową jasności punktów obrazu tworzy się ze średniej wartości jasności pierwszego wiersza obrazu, na dole fragmentu obrazu i średniej wartości jasności ostatniego wiersza obrazu.

Wartość progową jasności zastępuje się natężeniem barwy, przy czym niewielkie wartości czerwieni wskazują na topiące się bryły i/lub zimne bryły niestopionego szkła, zaś niewielkie wartości zieleni sygnalizują przy tym zimne bryły. Kryterialną wartość progową natężenia barwy tworzy się na

podstawie odpowiedniej wartości średniej, uzyskanej z wartości średnich dla pierwszego i ostatniego wiersza.

Pokrycie bryłami niestopionego szkła stanowi powierzchnię odniesioną do rzeczywistości wskutek tego, że tworzy się iloraz liczby ciemnych punktów we fragmencie obrazu wraz z ich ważeniem, w odniesieniu do liczby wszystkich punktów we fragmencie obrazu, łącznie z ich ważeniem.

Metoda przedstawiona w opisie patentowym PCT/EPO1/14865 koncentruje się na wypracowaniu wartości parametrów służących jako sygnały sterujące dla regulatorów procesu topienia szkła w wannie pieca szklarskiego.

W pracy pieca wannowego typu wanna U-płomienna, w których następuje naprzemienne ogrzewanie zestawu palnikami z lewej i prawej strony wanny, istotne jest utrzymanie maksymalnej symetrii opalania pieca.

Występująca często w praktyce asymetria opalania pieca przejawiająca się asymetrią rozkładu temperatur na powierzchni lustra szkła, może świadczyć zarówno o nieprawidłowym sterowaniu jak również może wynikać z innych warunków niemających bezpośredniego związku ze sterowaniem.

Źródłem asymetrii temperatury w piecu, wynikającej z asymetrii sterowania są: odmienność procesu ogrzewania zestawu i ogrzewania roztopionego szkła, asymetria rozmieszczenia zestawu naturalnie występująca w procesie topienia oraz naprzemienne opalanie prawej i lewej strony pieca.

O właściwej symetrii opalania pieca świadczy symetria topienia szkła, którą analizuje się na podstawie serii obrazów zarejestrowanych przez kamerę w piecu szklarskim. Analiza symetrii topienia szkła obejmuje dwa aspekty: symetrię zestawu (niestopionego surowca) oraz symetrię rozkładu temperatury.

Rozkład temperatury określa się na podstawie mapy temperatur powierzchni lustra topionego szkła sporządzonej w oparciu o obrazy uzyskiwane z kamery wizyjnej pracującej w paśmie widzialnym. Rozgrzane powierzchnie wewnątrz pieca, (elementy pieca, lustra szkła i zestawu) emitują promieniowanie widzialne, którego kolor zależy od temperatury. Spektrum promieniowania emitowanego przez powierzchnie wewnątrz pieca nie jest identyczne jak dla ciała doskonale czarnego co powoduje, że kolory, nie pokrywają się z locusem Plancka, który jest miejscem geometrycznym punktów odpowiadających promieniowaniu ciała doskonale czarnego w określonej przestrzeni kolorów.

Kolory na analizowanych obrazach, choć zbliżone do kolorów emitowanych przez ciało doskonale czarne, nie pokrywają się dokładnie z locusem Plancka i potrzebne jest znalezienie najbliższego punktu locusu Plancka, który im odpowiada. Dla tego celu oblicza się temperaturę barwową (*CCT-Correlated Color Temperature*), która odpowiada temperaturze ciała doskonale czarnego, którego kolor byłby najbardziej pod względem percepcji człowieka zbliżony do analizowanego koloru.

W pojedynczej chwili czasowej temperatury w piecu zawsze rozkładają się niesymetrycznie ze względu na naprzemienne opalanie pieca. Zmiana kierunku opalania pieca tj. przejście opalania przez palniki drugiej strony nosi nazwę rewersji. Obraz po zakończeniu pracy palników jednej strony zawsze pokazuje dla strony opalanej wyższe temperatury i mniejszą ilość nieprzetopionego materiału. Po rewersji opalania i zakończeniu pracy przez palniki drugiej strony obraz temperatur w idealnym przypadku powinien być symetrycznym odbiciem pierwszego. W praktyce pełna symetria nie jest osiągalna, choćby ze względu na nieregularne rozmieszczenie zestawu, którego temperatura jest zawsze niższa od temperatury roztopionego szkła. Rozrzucone, przypadkowo, pływające wyspy materiału nieprzetopionego materiału utrudniają nie tylko prawidłowe oszacowanie średniej temperatury przetopionego szkła, lecz także kontrolę nad utrzymaniem pożądanego symetrycznego rozkładu temperatury w końcowej strefie pieca.

Celem wynalazku jest opracowanie metody kontroli opalania pieca szklarskiego na podstawie map rozkładu temperatury, która byłaby niewrażliwa na zakłócenia wynikające na skutek obecności pływających wysp materiału nieprzetopionego.

Istota sposobu kontroli opalania pieca szklarskiego, w którym komorę ogrzewa się naprzemienne za pomocą co najmniej dwóch palników, polega na tym, że po każdym cyklu w którym ogrzewa się komorę pierwszym palnikiem, a przed kolejnym cyklem w którym ogrzewa się komorę przez drugi palnik, rejestruje się za pomocą kamery obraz powierzchni zestawu szklarskiego, następnie dla zarejestrowanego obrazu dokonuje się wyznaczenia obszarów symetrii dla nieprzetopionego materiału oraz wyznaczenia obszarów symetrii dla materiału przetopionego dla którego także wyznacza się rozkład zmierzonych wartości temperatury, następnie w oparciu o pomiary dokonane w kolejnych cyklach rewersji wyznacza się obszary symetrii sukcesywnej, osobno dla materiału nieprzetopionego

i osobno dla materiału przetopionego i dla tych obszarów wyznacza się średnie wartości temperatury, które wykorzystuje się w procesie kontroli.

Obszar symetrii dla nieprzetopionego materiału wyznacza się poprzez wskazanie wyłącznie tych obszarów, które posiadają tę samą barwę charakterystyczną dla nieprzetopionego materiału oraz posiadają symetryczne usytuowanie względem osi pieca.

Obszar symetrii dla przetopionego materiału: wyznacza się poprzez wskazanie wyłącznie tych obszarów, które posiadają tę samą barwę charakterystyczną dla przetopionego materiału oraz posiadają symetryczne usytuowanie względem osi pieca.

Obszary symetrii sukcesywnej wyznacza się tylko i wyłącznie jako te obszary symetrii dla materiału przetopionego lub materiału nieprzetopionego, w których pomiędzy kolejnymi cyklami rewersji nie zarejestrowano zmiany, czyli w miejscu gdzie znajdował się materiał przetopiony nadal znajduje się materiał przetopiony, natomiast w miejscu gdzie znajdował się materiał nieprzetopiony nadal znajduje się materiał nieprzetopiony. Rozkład temperatury wyznacza się dla tych obszarów, które są pokryte przetopionym materiałem oraz posiadają symetryczne usytuowanie względem osi pieca.

Pierwszy obszar symetrii dla rozkładu temperatury wyznacza się poprzez zestawienie po obu stronach osi kolejnych rozkładów temperatury zmierzonych tuż po ich cyklu ogrzewania.

Drugi obszar symetrii dla rozkładu temperatury wyznacza się poprzez zestawienie po obu stronach osi kolejnych rozkładów temperatury zmierzonych przed cyklem ich ogrzewania.

Zaletą sposobu według wynalazku jest to, że pozwala na szybkie zdiagnozowanie ewentualnych nieprawidłowości systemu opalania pieca szklarskiego. Dzięki ograniczeniu badanego obszaru do obszarów w pełni symetrycznych możliwe jest wykrywanie tylko tych składowych asymetrii, która wynikają z asymetrii opalania bądź z asymetrycznej pracy zasypników przy precyzyjnym zrównoważeniu składowych asymetrii naturalnie występujących w procesie wytopu. W proponowanej metodzie kompensacja taka ma miejsce pomimo obecności pływających wysp z materiałem nieprzetopionym, który wskutek innej wartości współczynnika emisji promieniowania podczerwonego uniemożliwiłby dokładny pomiar temperatury i tym samym kontrolę procesu.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym:

fig. 1a przedstawia obraz rozkładu materiału przetopionego i materiału nieprzetopionego w komorze pieca po cyklu ogrzewania lewej strony,

fig. 1b przedstawia obraz symetrii po cyklu ogrzewania lewej strony pieca,

fig. 2a przedstawia obraz rozkładu materiału przetopionego i materiału nieprzetopionego w komorze pieca po cyklu ogrzewania prawej strony,

fig. 2b przedstawia obraz symetrii po cyklu ogrzewania prawej strony pieca,

fig. 3 przedstawia obraz symetrii sukcesywnej, czyli obszary wspólne dla kolejnych obrazów symetrii, czyli fig. 1b i fig. 2b.

fig. 4 przedstawia zarejestrowane temperatury dla kolejnych obszarów symetrii sukcesywnej przetopionego materiału.

Przy czym, obszar symetrii dla nieprzetopionego materiału jest wyznaczany automatycznie metodami komputerowej analizy obrazu i obejmuje wyłącznie te obszary, które są pokryte nieprzetopionym materiałem oraz posiadają symetryczne usytuowanie względem osi pieca, natomiast obszar symetrii dla przetopionego materiału, także wyznaczany automatycznie, obejmuje wyłącznie te obszary, które są pokryte przetopionym materiałem oraz posiadają symetryczne usytuowanie względem osi pieca.

Obszary symetrii sukcesywnej stanowią tylko i wyłącznie te obszary pokryte materiałem lub niepokryte materiałem dla których kolejne obszary symetrii sporządzone po cyklu ogrzewania lewej strony pieca i prawej strony pieca pokrywają się. Innymi słowy, wybrany obszar symetrii sukcesywnej stanowi iloczyn logiczny dwóch zarejestrowanych kolejno po sobie obrazów symetrii, które uzyskano po kolejnym ogrzaniu obu stron pieca. Dzięki temu możliwe jest wyselekcjonowanie możliwie największych obszarów symetrycznie usytuowanych po obu stronach osi pieca dla oszacowania średniej wartości temperatury przetopionego materiału, a także dla weryfikacji równowagi średnich wartości temperatury przetopionego materiału po obu stronach.

Sposób według wynalazku został zrealizowany poprzez wykorzystanie standardowej kamery wizyjnej zainstalowanej we wnętrzu pieca szklarskim. Obrazy z kamery kolorowej pracującej w paśmie widzialnym, dla kolejnych rewersji, zostały zapisane w pamięci. Następnie w oparciu o zapisane dane sporządzono obrazy symetrii i obrazy symetrii sukcesywnej dla przetopionego materiału. Po każdym cyklu grzewczym (w czasie rewersji) dla każdego kolejnego obszaru symetrii sukcesywnej dokonano

pomiaru rozkładu temperatury na podstawie zapisanych obrazów. Wyniki pomiarów przedstawiono na kolejnych sekwencjach fig. 4, przy czym każdy obraz stanowi zestawienie wyników pomiaru temperatury dwóch kolejnych cykli. Przykładowo, pierwszy obraz z fig. 4 przedstawia zmierzony rozkład temperatury dla lewej strony pieca w czasie pierwszej rewersji (oznaczony 1L), która nie była ogrzewana w trakcie pierwszej rewersji i złożony z rozkładem temperatury dla prawej strony pieca (oznaczony 2R), która nie była ogrzewana w trakcie drugiej rewersji. Uzyskano obraz temperatur (1L+2R) dla stron nieogrzewanych pieca. Następnie zmierzono rozkład temperatur dla lewej strony pieca w czasie pierwszej rewersji (oznaczony 2L), która była ogrzewana w trakcie pierwszej rewersji i złożono z obliczonym rozkładem temperatury dla prawej pieca (oznaczony 1R), która była ogrzewana w trakcie drugiej rewersji. Uzyskano w ten sposób obrazy temperatur stron ogrzewanych pieca szklarskiego (2L+1R) w trakcie rewersji pierwszej i drugiej. Algorytm ten powtórzono dla kolejnych rewersji następujących po sobie par rewersji: drugiej i trzeciej, trzeciej i czwartej oraz czwartej i piątej.

Metoda według wynalazku poprzez adaptacyjną selekcję równoważnych i symetrycznych względem osi pieca obszarów dla pomiaru temperatury umożliwia szybkie oszacowanie właściwej średniej temperatury procesu w końcowej strefie pieca oraz zapewnia automatyczne utrzymanie symetrycznego jej rozkładu.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób kontroli opalania pieca szklarskiego w którym komorę ogrzewa się naprzemiennie za pomocą co najmniej dwóch palników, a oszacowanie asymetrii opalania pieca dokonuje się na podstawie map rozkładu temperatury na powierzchni lustra topionego szkła oraz rozkładu nieprzetopionego materiału, które rejestruje się za pośrednictwem kolorowej kamery wizyjnej, **znamienny tym**, że po każdym cyklu w którym ogrzewa się komorę pierwszym palnikiem, a przed kolejnym cyklem w którym ogrzewa się komorę przez drugi palnik, rejestruje się za pomocą kamery obraz powierzchni zestawu szklarskiego, następnie dla zarejestrowanego obrazu dokonuje się wyznaczenia obszarów symetrii dla nieprzetopionego materiału oraz wyznaczenia obszarów symetrii dla materiału przetopionego dla którego także wyznacza się rozkład zmierzonych wartości temperatury, następnie w oparciu o pomiary dokonane w kolejnych cyklach rewersji wyznacza się obszary symetrii sukcesywnej, osobno dla materiału nieprzetopionego i osobno dla materiału przetopionego i dla tych obszarów wyznacza się średnie wartości temperatury, które wykorzystuje się w procesie kontroli.

2. Sposób kontroli opalania pieca według zastrz. 1, **znamienny tym**, że obszar symetrii dla nieprzetopionego materiału wyznacza się poprzez wskazanie wyłącznie tych obszarów, które posiadają tę samą barwę charakterystyczną dla nieprzetopionego materiału oraz posiadają symetryczne usytuowanie względem osi pieca.

3. Sposób kontroli opalania pieca według zastrz. 1, **znamienny tym**, że obszar symetrii dla przetopionego materiału wyznacza się poprzez wskazanie wyłącznie tych obszarów, które posiadają tę samą barwę charakterystyczną dla przetopionego materiału oraz posiadają symetryczne usytuowanie względem osi pieca.

4. Sposób kontroli opalania pieca według zastrz. 1, **znamienny tym**, że jako obszary symetrii sukcesywnej wyznacza się tylko i wyłącznie te obszary symetrii dla materiału przetopionego lub materiału nieprzetopionego, w których pomiędzy kolejnymi cyklami rewersji nie zarejestrowano zmiany, czyli w miejscu gdzie znajdował się materiał przetopiony nadal znajduje się materiał przetopiony, natomiast w miejscu gdzie znajdował się materiał nieprzetopiony nadal znajduje się materiał nieprzetopiony.

5. Sposób kontroli opalania pieca według zastrz. 1, **znamienny tym**, że rozkład temperatury wyznacza się poprzez wskazanie wyłącznie tych obszarów, które są pokryte przetopionym materiałem oraz posiadają symetryczne usytuowanie względem osi pieca.

6. Sposób kontroli opalania pieca według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pierwszy obszar symetrii dla rozkładu temperatury wyznacza się poprzez zestawienie po obu stronach osi kolejnych rozkładów temperatury zmierzonych tuż po ich cyklu ogrzewania.

7. Sposób kontroli opalania pieca według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drugi obszar symetrii dla rozkładu temperatury wyznacza się poprzez zestawienie po obu stronach osi kolejnych rozkładów temperatury zmierzonych przed cyklem ich ogrzewania.

### Rysunki

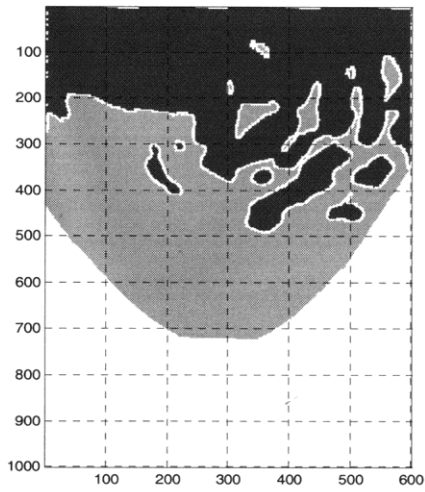


fig. 1a

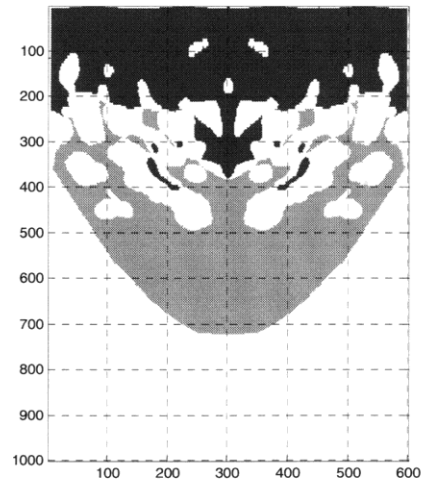


fig. 1b

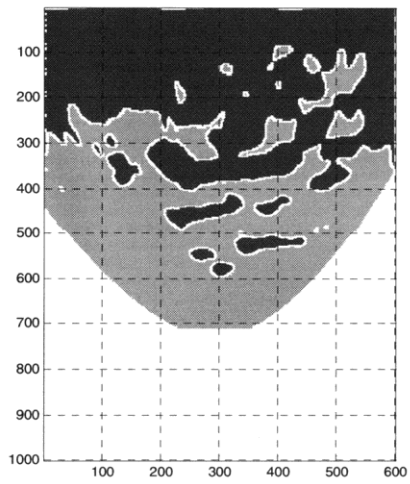


fig. 2a

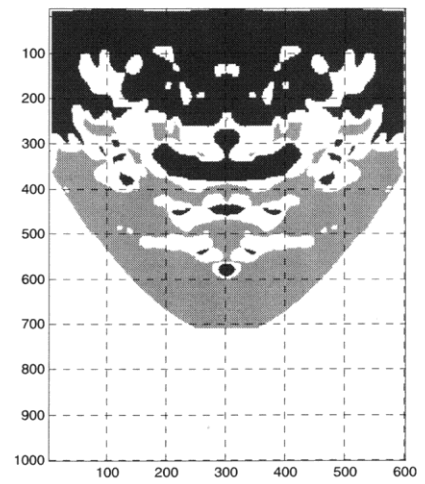


fig2b

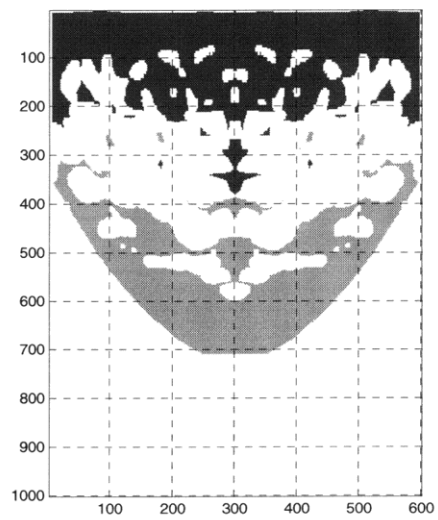


fig. 3

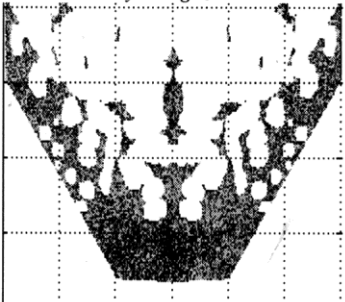
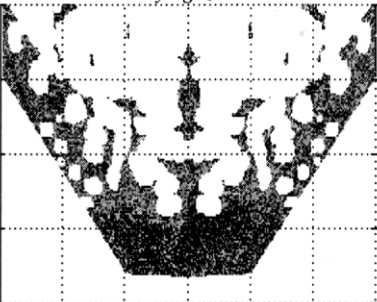


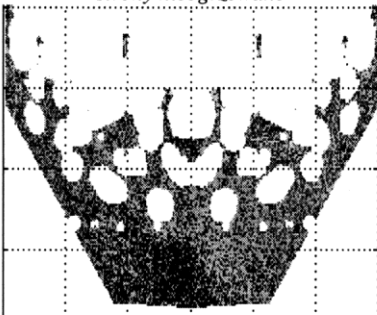
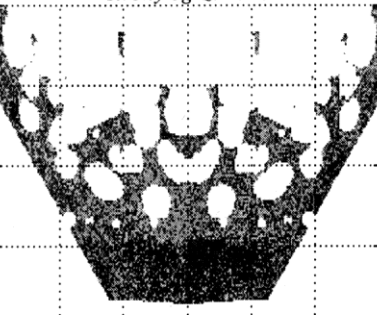
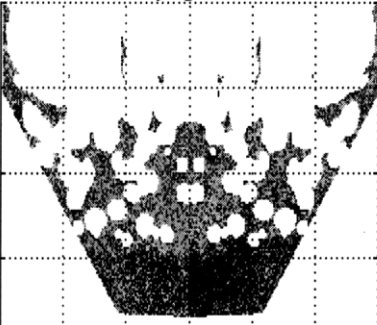
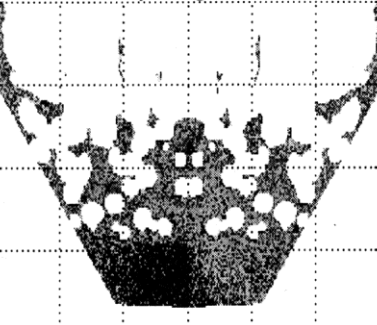
Para rewersji	Obraz temperatur 1L+2R (lewa strona dla pierwszej rewersji złożona z prawą stroną dla drugiej rewersji)	Obraz temperatur 2L+1R (lewa strona dla drugiej rewersji złożona z prawą stroną dla pierwszej rewersji)
Rew.1+Rew.2	<p style="text-align: center;"><i>strony nieogrzewane</i></p> 	<p style="text-align: center;"><i>strony ogrzewane</i></p> 
Rew.2+Rew.3	<p style="text-align: center;"><i>strony ogrzewane</i></p> 	<p style="text-align: center;"><i>strony nieogrzewane</i></p> 
Rew.3+Rew.4	<p style="text-align: center;"><i>strony nieogrzewane</i></p> 	<p style="text-align: center;"><i>strony ogrzewane</i></p> 
Rew.4+Rew.5	<p style="text-align: center;"><i>strony ogrzewane</i></p> 	<p style="text-align: center;"><i>strony nieogrzewane</i></p> 

Fig. 4

