

WARIANTY KONSTRUKCYJNE ROZWIĄZAŃ TRANSPORTU FLUIDALNEGO ELEMENTÓW DO UKŁADÓW FOTOGALWANICZNYCH

Kamil KROT, Piotr GÓRSKI, Wojciech MATUSEWICZ

Streszczenie: W pracy przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne systemów transportu fluidalnego dedykowane zastosowaniom w obróbce elementów do układów fotogalwanicznych. Opracowano warianty transportu fluidalnego do obróbki elementów w pozycji horyzontalnej oraz w układzie wertykalnym. Rozwiązania miały na celu eliminację kontaktu mechanicznego pomiędzy transporterem i elementem transportowanym. Warianty rozwinięto do postaci modeli CAD 3D, oraz częściowo zweryfikowano na prototypowych stanowiskach badawczych.

Słowa kluczowe: transport fluidalny, transporter

1. Wprowadzenie

Transport płaskich elementów w procesach przemysłowych jest aktualnym zapotrzebowaniem w wielu firmach zajmujących się produkcją oraz obróbką takich elementów. Szczególne zainteresowanie tematyką opracowania innowacyjnych metod w zakresie przenoszenia płaskich elementów można zauważyć w firmach zajmujących się produkcją maszyn i urządzeń do wytwarzania obwodów drukowanych w oparciu o cienkie laminaty, a także do obróbki płytek krzemowych w wytwarzaniu elementów paneli fotowoltaicznych [2]. Producentami takich urządzeń są m.in. RENA (Niemcy), KUTTLER Automation Systems (Chiny), Digamber Enterprises (Indie), WISE (Włochy), M.E. Baker Company (USA), Hamlet&Smith Incorporated (USA). Najważniejsze procesy podczas produkcji obwodów drukowanych dotyczą mycia paneli przed trawieniem, nakładania maski do trawienia, trawienia, płukania elementów z resztek płynów procesowych.

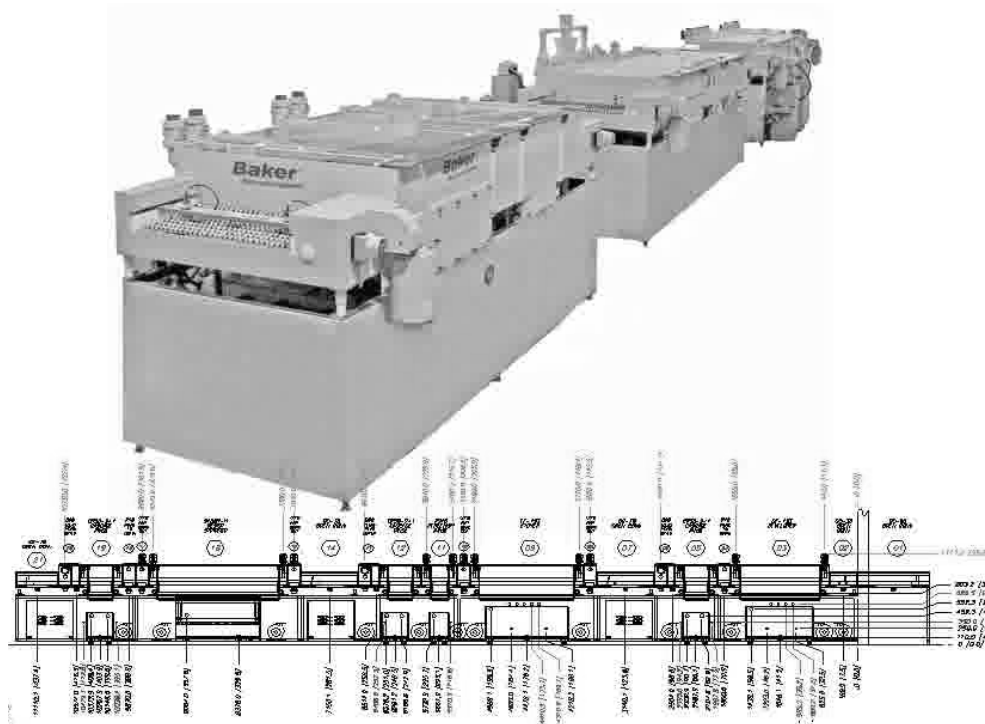
Przy wytwarzaniu elementów paneli fotowoltaicznych najważniejszym procesem jest kontrolowane trawienie powierzchni płytek celem uzyskania odpowiedniej struktury na powierzchni. Wszystkie, wymienione powyżej, procesy wymagają kontrolowanego transportu operacyjnego oraz międzyoperacyjnego w całym czasie trwania procesów produkcyjnych.

2. Transport płaskich elementów w systemach produkcyjnych

Współczesne rozwiązania transportu płaskich elementów w zależności od procesów produkcyjnych zazwyczaj opierają się na przenośnikach taśmowych, zabierakowych, łańcuchowych, rozwiązaniach z elementami tocznymi jak wałki, krążki, elementy ślizgowe – jezdnie, grzebienie [1]. Wspólną cechą wszystkich wymienionych rozwiązań jest kontakt mechaniczny transportowanych przedmiotów obrabianych z elementami systemów transportowych.

Jeżeli transportowane elementy charakteryzują się stosunkowo wysoką wytrzymałością mechaniczną oraz nie są podatne na uszkodzenia powierzchniowe, procesy transportu przebiegają na ogół bez zakłóceń. Problemy pojawiają się podczas przenoszenia elementów kruchych o niskiej wytrzymałości w transporcie. Przykładem takich produktów są płytki wycięte z monokryształów krzemu (*ang. wafer*). Płytki takie używane są w budowie ogniw fotowoltaicznych, grubości tych elementów najczęściej mieszczą się w przedziale 200–300 μm . Kształt zewnętrzny najczęściej jest kwadratem o boku 200 mm. Przeprowadzone próby dowodzą, że płytki już przy naprężeniach rzędu 30 – 40 MPa mogą pękać [3,4]. Jeżeli transportowane elementy ulegną zniszczeniu odłamki zanieczyszczają kąpieli procesową i wymuszają awaryjne zatrzymanie systemu oraz oczyszczenie kąpieli, co jest procesem kosztownym i czasochłonnym.

Najpopularniejszym rozwiązaniem, stosowanym w transporcie płytek z monokryształów krzemu jest system transportu rolkowego z wykorzystaniem rolek na napędzanych wałkach z dociskiem grawitacyjnym rolekmi na wałkach od góry. Jeżeli proces obróbki w płynach procesowych nie jest zbyt dynamiczny i nie narusza stateczności transportowanych elementów stosowane są również przenośniki bez docisku od góry – przykład takiego rozwiązania firmy Baker zamieszczono na rys. 1.



Rys. 1. Przenośnik rolkowy do obróbki horizontalnej firmy Baker [5]

Mając na uwadze powyższe problemy podjęto próby eliminacji kontaktu mechanicznego pomiędzy transportowanymi elementami a urządzeniami transportującymi. Jako cel postawiono sobie całkowitą eliminację kontaktu a wszystkie funkcje związane

z parametrami ruchu miały być realizowane przez ciecz transportującą. Ciecz oprócz funkcji transportowych powinna spełniać również założone funkcje procesowe związane np. z trawieniem bądź płukaniem.

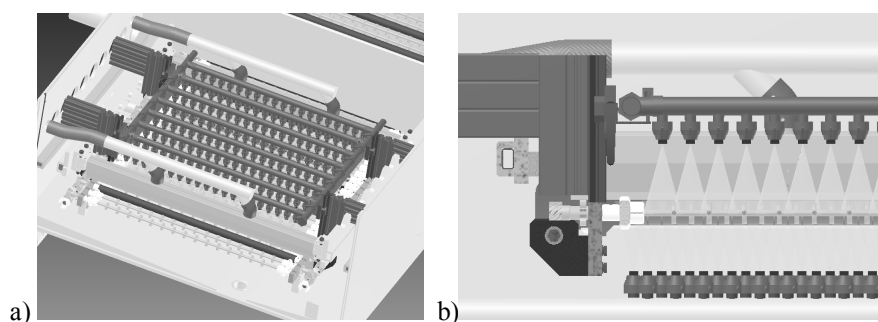
Firma Matuszewicz Budowa Maszyn S. J. podjęła prace zmierzające do opracowania innowacyjnej metody transportu płytek. Prace prowadzono wspólnie z Politechniką Wrocławską w ramach projektu współfinansowanego przez Unię Europejską „Opracowanie i rozwój systemu transportu fluidalnego w obróbce horyzontalnej elementów do układów fotogalwanicznych”.

3. Rozwiązania konstrukcyjne transportu fluidalnego

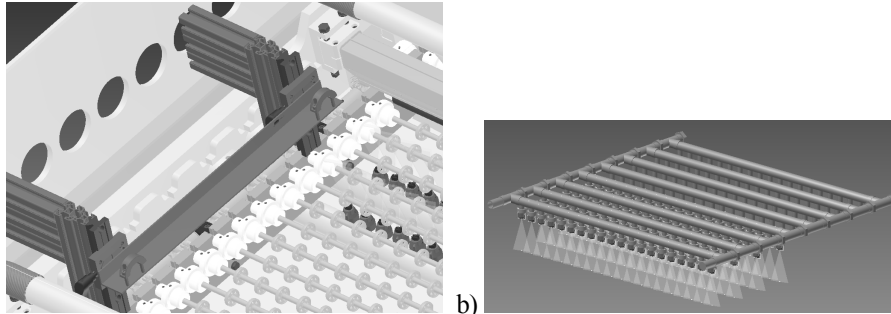
Punktem wyjścia w opracowanych rozwiązaniach konstrukcyjnych był tradycyjny transporter rolkowy z dociskiem transportowanych elementów realizowanym przez wałki z rolkami dociskowymi. W takim urządzeniu elementy transportowane są w pozycji horyzontalnej. W pierwszym kroku zdecydowano się na ograniczenie kontaktu mechanicznego poprzez eliminację rolek dociskowych. W wyniku przeprowadzonych prac projektowych opracowano pierwszy wariant rozwiązania konstrukcyjnego transportera z ograniczonym kontaktem mechanicznym. Istotą tego rozwiązania jest wyeliminowanie rolek dociskowych odpowiedzialnych za zachowanie stateczności transportowanych elementów oraz sterowanie prędkością procesu transportowego. Wariant ten nadal zawiera rolki prowadzące ale tylko w dolnej części transportera. W jednej z wersji rolki są napędzane. Poprzez sterowanie prędkością obrotu rolek możliwe jest sterowanie prędkością transportu elementów. Stateczność transportowanych elementów zapewniona jest poprzez ciśnienie wywołane przez ciecz natryskiwaną od góry na transportowane elementy.

Kolejne rozwiązanie konstrukcyjne eliminuje napęd na rolkach pozostawia je jako bierne elementy toczne. Napęd oraz sterowanie procesem transportu realizowane jest przez ciśnienie cieczy procesowej generowane przez dysze kierunkowe. Modyfikacje kierunku działania ciśnienia cieczy procesowej jak również ciśnienia pozwala na sterowanie procesem transportu (rys. 2, 3, 4).

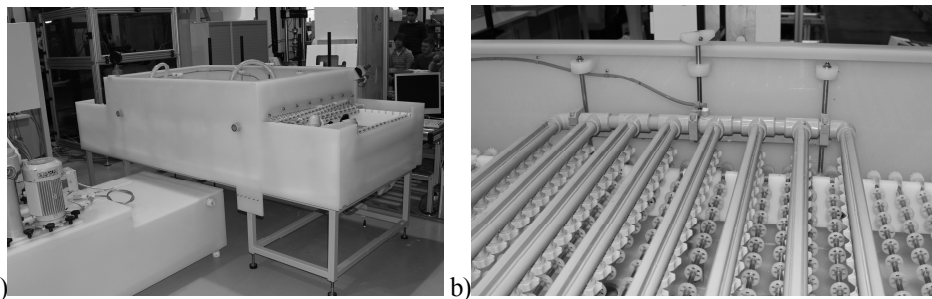
Opracowane rozwiązania wdrożono do produkcji i opracowano fragment linii technologicznej do płukania elementów płaskich. Eliminacja docisku mechanicznego przez rolki znacznie ograniczyła awaryjność urządzeń.



Rys. 2. Transport na rolkach z dociskiem ciśnieniem cieczy model CAD 3D: a) widok na wannę procesową, b) widok na dysze natryskowe.

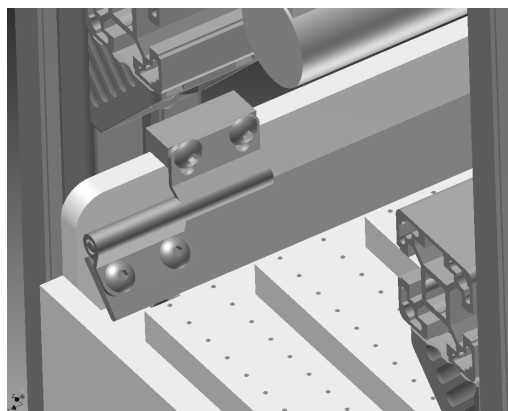


Rys. 3. Transporter z rolkami biernymi model CAD 3D: a) widok na rolki prowadzące, b) górna instalacja natryskowa.



Rys. 4. Transporter z rolkami biernymi, napędem i sterowaniem przez dysze kierunkowe-
stanowisko badawcze: a) widok ogólny, b) wanna procesowa.

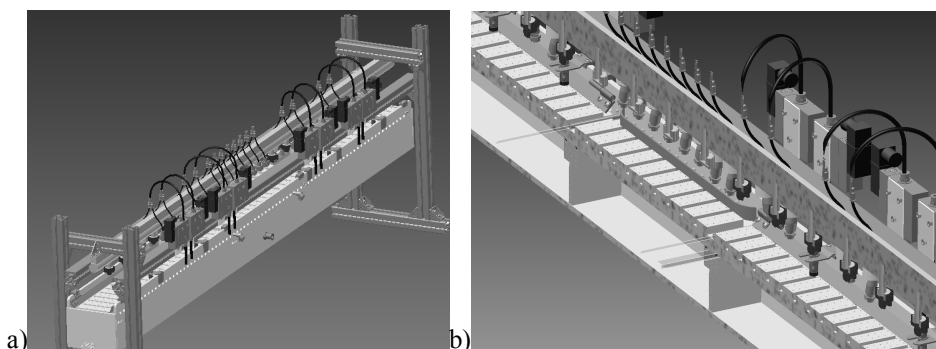
Doświadczenia te postanowiono rozwijać i opracowano kolejne warianty konstrukcyjne rozwiązań całkowicie eliminujące kontakt mechaniczny pomiędzy elementami transportowanymi i urządzeniami transportera. Istotą tych rozwiązań było wytworzenie „poduszki z cieczy procesowej” na której miał być przenoszony transportowany element. Bardzo istotne okazało się opracowanie rozwiązań konstrukcyjnych płyt transportera umożliwiających wytworzenie ciśnienia cieczy procesowej oraz zapewnienia kontrolowanego rozkładu ciśnień pod transportowanym elementem. Ważnym czynnikiem okazało się zaprojektowanie kanałów odprowadzających ciecz procesową – rys. 5.



Rys. 5. Perforowana płyta transportera z kanałami do odprowadzania cieczy procesowej model CAD 3D.

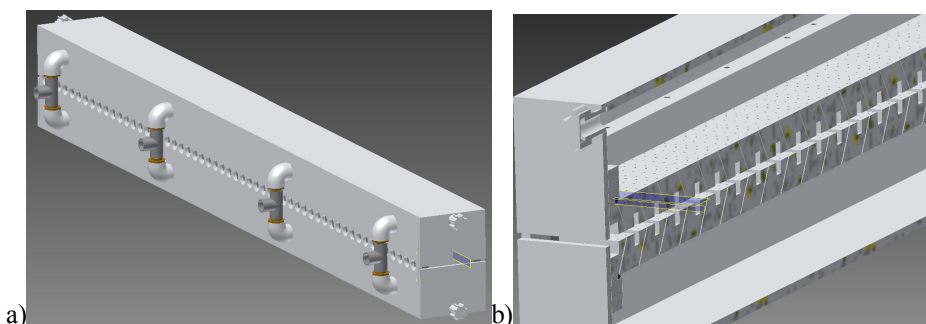
Podczas testów na stanowisku badawczym zauważono konieczność wprowadzenia dodatkowych elementów zapewniających kontrolowany poziom cieczy w obszarze wypływu tak, żeby nie dochodziło do kontaktu pomiędzy transportowanym elementem i płytą transportera.

Dla potrzeb sterowania prędkością transportu oraz monitorowania jego przebiegu opracowano system bramek mierzących odległości pomiędzy transportowanymi. Z układem sterowania połączone były dysze kierunkowe do korygowania prędkości elementów transportowanych w celu zapewnienia określanych odległości pomiędzy nimi. Model CAD 3D transportera przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Transporter płaskich elementów z dyszami natryskowymi, dyszami korygującymi prędkość transportu model CAD 3D : a – widok ogólny, b – przekrój.

W przedstawionym rozwiązaniu transportera napęd przekazywany jest poprzez ciśnienie wywierane przez ciecz kierowaną pod odpowiednim kątem przez górne dysze natryskowe. Opracowano rozwiązanie, w którym sterowanie procesem transportowym odbywa się z pominięciem dyszy natryskowych a sam transport realizowany jest w szczelinie pomiędzy dolną i górną płytą perforowaną (rys. 7).

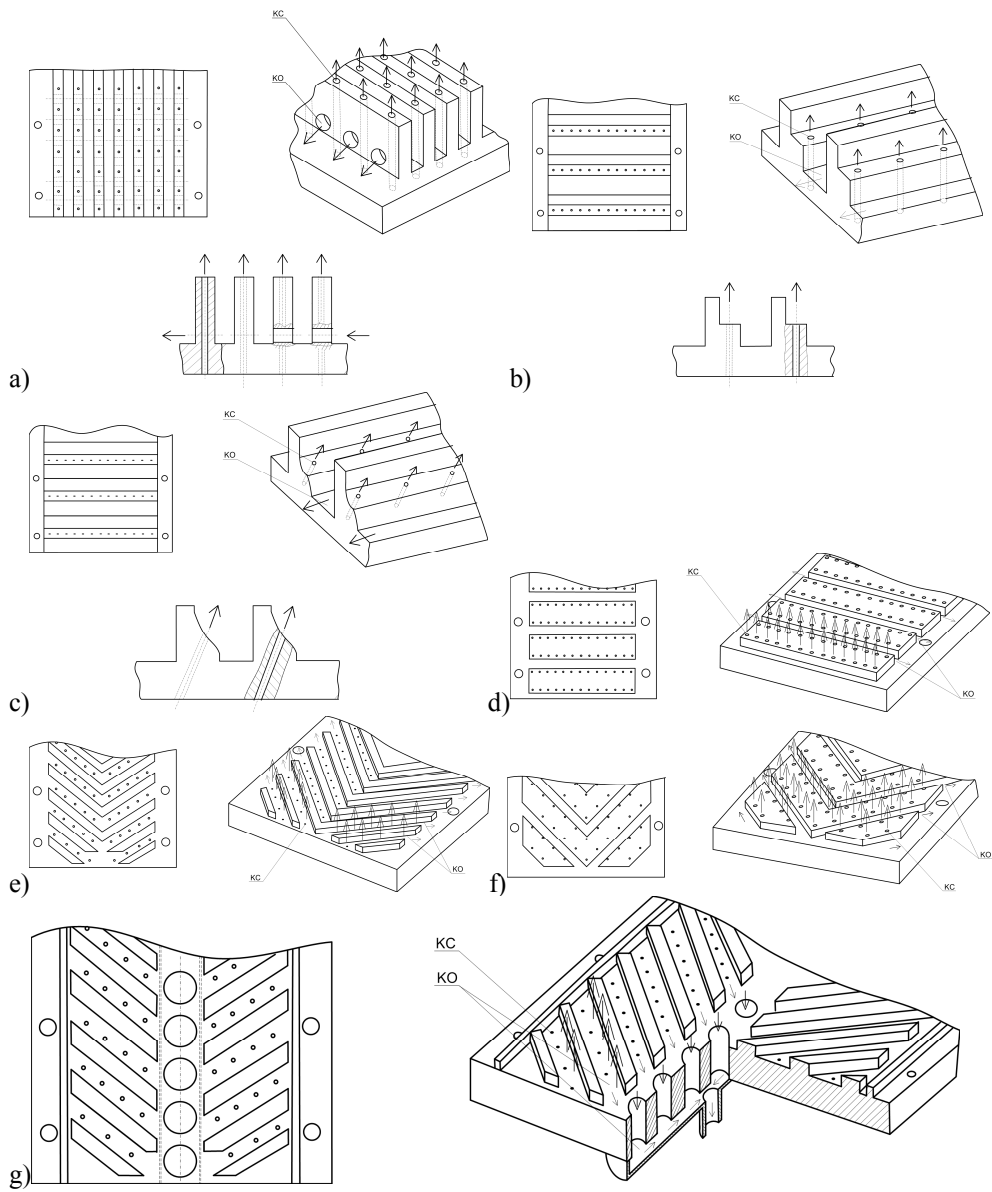


Rys. 7. Transporter płaskich elementów, wariant bez dyszy sterujących i natryskowych: a – widok ogólny, b – przekrój.

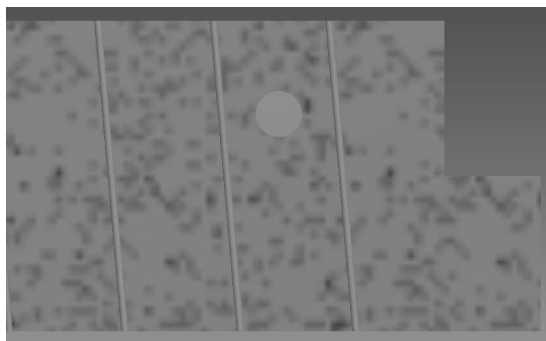
Płyty, górna i dolna, mają specjalnie zaprojektowane kanały odprowadzające ciecz procesową oraz kanały natryskowe, kierujące przepływem cieczy.

4. Rozwiązania konstrukcyjne płyt perforowanych transportera

Podczas prac projektowych szczególną uwagę zwrócono na opracowanie rozwiązań konstrukcyjnych płyt perforowanych transportera, jako najistotniejszego elementu urządzenia. Konstrukcja płyty powinna umożliwiać utworzenie filmu cieczy procesowej o sterowalnej grubości oraz kontrolowanym przepływie cieczy po wytraceniu energii (wypływ). Mając na uwadze powyższe wytyczne zaprojektowano szereg wariantów konstrukcyjnych płyt charakteryzujących się różnymi, spodziewanymi efektami w zakresie generowanego rozkładu ciśnień oraz kierunków przepływu cieczy – rys. 8. Wariant „a” z rys. 9 zakłada zasilanie cieczą procesową poprzez otwory wykonane w wypustkach płyty transportowej a odprowadzanie cieczy ma odbywać się przez zagłębienia w płycie i następnie przez otwory prostopadłe do kierunku transportu. Napęd nadający kierunek ruchu transportowanym elementom może być tutaj realizowany przez kierunkowe dysze natryskowe lub przez ciśnienie cieczy i kontrolowany wypływ z kanałów, pod warunkiem, że kanały te będą wykonane pod kątem – rys. 9. Napęd transportowanych elementów starano się również uzyskać poprzez kierowanie odpływem cieczy – wariant „g)” z rys. 8 nie uzyskano jednak tutaj satysfakcjonujących wyników, ponieważ założona szerokość kanałów oraz występow tworzących kanałów okazały się niewłaściwe co spowodowało do „osiadania” transportowanych elementów na występowach transportera i zatrzymania transportu. Podjęte próby zwiększania ciśnienia cieczy procesowej doprowadziły do powstania turbulencji w przepływie i utraty stateczności transportowanych elementów.

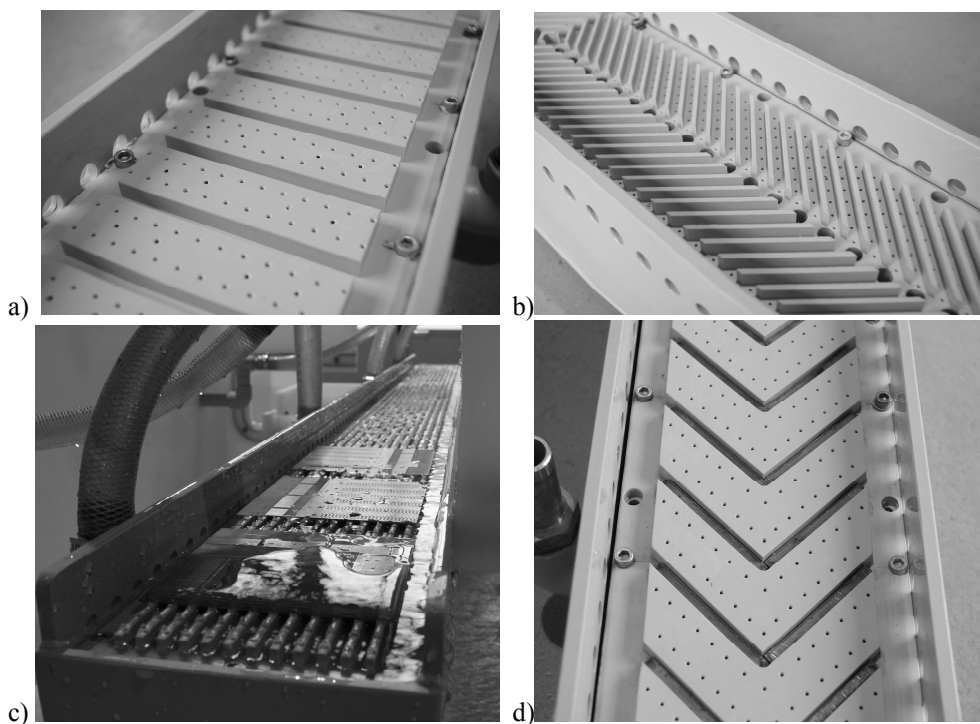


Rys. 8. Warianty konstrukcyjne perforowanych płyt transportera – KC-kierunek wypływu cieczy procesowej, KO – kierunek odpływu cieczy procesowej.



Rys. 9. Przekrój płyty transportowej z kanałami doprowadzającymi ciecz pod kątem.

Wybrane rozwiązania transporterów rozwinięto do postaci prototypów (rys. 10), przebadano ich funkcjonalność na stanowisku badawczym.



Rys. 10. Prototypowe rozwiązania płyt transportera: a) odpływ cieczy kanałami prostopadłymi do kierunku transportu, b) odpływ cieczy wąskimi kanałami kierunkowymi, c) odpływ cieczy otworami pomiędzy kanałami doprowadzającymi, d) odpływ cieczy kanałami pomiędzy szerokimi półkami z filmem cieczy

Powyższe założenia odnośnie opracowania rozwiązań konstrukcyjnych transportu fluidalnego oraz płyt transportera zgłoszono do ochrony patentowej – zgłoszenia nr: P404700, P404701, P404702, P404704.

5. Podsumowanie

W artykule opisano część prac związanych z opracowaniem rozwiązań konstrukcyjnych wariantów transportu fluidalnego dla elementów płaskich. Zaprezentowano przegląd analizowanych rozwiązań i wariantów, które ograniczały, bądź całkowicie eliminowały mechaniczny kontakt z rolkami prowadzącymi, a przez to zmniejszyły prawdopodobieństwo uszkodzeń transportowanych elementów. Zaprojektowane rozwiązania konstrukcyjne częściowo przetestowano na stanowisku badawczym, wyposażonym w wannę procesową, układ pomp i filtrów. Osiągnięte rezultaty pozwoliły na implementację wybranych rozwiązań w warunkach przemysłowych przez firmę Matusiewicz Budowa Maszyn S. J.

Literatura

1. Furmanik K. „Transport przenośnikowy” Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2008.
2. Krot Kamil, Górski Piotr, Matusiewicz Wojciech: System transportu fluidalnego w obróbce horyzontalnej elementów do układów fotogalwanicznych W: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji / pod red. Ryszarda Knosali. Opole : Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2013. s. 173-180,
3. Xavier F. Brun, Shreyes N. Melkote “Analysis of stresses and breakage of crystalline silicon wafers during handling and transport” Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 1238–1247.
4. Gustafsson J. Larsson H. Solheim H., J., Bostrom T., “Mechanical stress tests on mc-Si wafers with microcracks” , in: Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1–5 September 2008, Valencia, Spain, pp. 1–4.
5. Materiały firmy Baker: <http://www.mebaker.com/>, 2015

Dr inż. Kamil KROT
Dr inż. Piotr GÓRSKI
Katedra Technologii Laserowych
Automatyzacji i Organizacji Produkcji
Politechnika Wrocławska
50-371 Wrocław, ul. Ignacego Łukasiewicza 5
tel.: (71) 320 26 00, fax.: (71) 328 06 70
e-mail: kamil.krot@pwr.edu.pl,
piotr.gorski@pwr.edu.pl

Wojciech MATUSEWICZ
Matusiewicz Budowa Maszyn S. J.
Ul. Lwowska 40
59-620 Gryfów Śląski
tel.: (75) 7820011, fax.: (75) 7813004
e-mail: wojtek@matusewicz.pl