ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: AUTOMATYKA z.115 Nr kol. 1251

Jerzy ZAJĄC, Adam ŁUSZCZEK

Politechnika Krakowska

KRYTERIA ZGODNOŚCI W PROCESIE GENEROWANIA WZORÓW ROZKROJU ELEMENTÓW PŁASKICH

Streszczenie: W referacie omówiono metody rozwiązywania problemów rozkroju z elementami nieregularnymi. Skoncentrowano się na problemie łączenia elementów w procesie generowania wzorów rozkroju. W celu weryfikacji poprawności uzyskiwanych rozwiązań zaproponowano kryteria zgodności służące do oceny jakości łączenia dwóch elementów. Przedstawiono przykłady uzasadniające przyjęcie zaproponowanych kryteriów.

OPTIMALITY CRITERIA IN PROCESS OF PLANE FIGURES CLUSTERING

Summary: The paper deals with an optimal clustering of two-dimensional shapes. To find a solution of each practical nesting problem, a lot of two-pieces clustering problems have to be solved. The objective is to cluster two plane figures according optimization criteria. A set of hierarchical optimality criteria is proposed. Examples describing the role of the criteria are presented.

ÜBEREINSTIMMUNGSKRITERIEN IM PROZESS DER AUSCHNEIDEMUSTER-GENERIERUNG VON FLACHELEMENTEN

Zusammenfassung: Im Artikel wurden die Methoden der Lösung von Auschneideproblemen der unregelmäßigen Elementen besprochen. Das Hauptproblem ist die Verbindung von Elementen im Prozess der Auschneidemuster-Generierung. Es wurden die zur Beurteilung der Verbindungsgüte von Elementen dienenden Übereinstimmungskriterien vorgeschlagen. Es wurden die Beispiele dargestellt, die vorgeschlagene Kriterien begründen.

1. Wprowadzenie

Problem efektywnego rozmieszczania elementów nieregularnych w przestrzeni dwuwymiarowej stanowi przedmiot intensywnego zainteresowania badaczy pracujących w różnych dziedzinach nauki, takich jak: matematyka, informatyka, zarządzanie czy technologia. Prace omawiające to zagadnienie spotkać można w periodykach i materiałach konferencyjnych dotyczących wielu dziedzin wiedzy, jednakże dominującą rolę odgrywa interdyscyplinarne podejście stanowiące obszar zainteresowań badań operacyjnych. Wielość możliwych zastosowań oraz potencjalne korzyści wynikające z właściwie realizowanego procesu rozkroju powodują duże zainteresowanie tą tematyką. Zestawienie literatury z tego zakresu znaleźć można w pracach przeglądowych [3][5][6][8][14]. Wśród wielu ciekawych problemów pojawiających się przy automatyzacji projektowania procesów rozkroju materiałów, jednym z najważniejszych i jednocześnie najciekawszych zagadnień jest rozkrój płaskich elementów nieregularnych. Kluczowym elementem algorytmów optymalizacji rozkroju jest problem automatycznej generacji wzorów rozkroju. Wzór rozkroju jest to przyporządkowanie elementów wynikowych (które chcemy wyciąć) do elementu stanowiącego przedmiot rozkroju. Proces przyporządkowania realizowany jest w taki sposób, by uzyskać optimum przyjętych kryteriów oceny. Najczęściej wykorzystywanym, choć nie we wszystkich przypadkach najlepszym kryterium optymalizacji, jest wielkość odpadu powstającego w procesie rozkroju. Dla opracowywania algorytmów generacji wzorów rozkroju niezbędne jest wcześniejsze zdefiniowanie lokalnych kryteriów zgodności, służących do "bieżącej" oceny poprawności łączenia elementów. Problem określenia kryteriów zgodności w procesie generowania wzorów rozkroju elementów płaskich stanowi przedmiot zainteresowania autorów referatu.

2. Metody rozwiązywania problemu generowania wzorów rozkroju z elementami nieregularnymi

Problem efektywnego generowania wzorów rozkroju rozwiązuje się głównie za pomocą metod heurystycznych. Literatura z tego zakresu jest stosunkowo nieliczna,co wynika z jednej strony ze złożoności samego zagadnienia, a zdrugiej strony z dużego znaczenia komercyjnego efektywnych algorytmów. W podejściu heurystycznym do rozwiązania problemu generowania

wzorów rozkroju z elementami nieregularnymi dominują dwie strategie. Pierwsza, częściej opisywana w literaturze [1][7][9][15][17], bazuje na hierarchicznym dwuetapowym podejściu. W etapie pierwszym nieregularne elementy "wpasowywane" są pojedynczo lub grupami w prostokąty, tak by stosunek pola zajętego przez elementy do pola prostokąta był maksymalny [1][10]. W etapie drugim rozwiązuje się problem z elementami regularnymi (prostokątami zawierającymi elementy nieregularne) stosując podejście deterministyczne lub heurystyczne. Otrzymywane rozwiązania, ze względu na zastosowaną specyfikę podejścia, są korygowane automatycznie lub za pomocą specjalnych programów umożliwiających "ręczne" manipulowanie elementami. Druga strategia polega na bezpośrednim pakowaniu elementów nieregularnych [9][13]. Stosuje się tu metody heurystycznego przeszukiwania [2], losowe [11], a dla szczególnych przypadków nawet metody deterministyczne [4][12].
Podstawowe znaczenie w procesie projektowania wzorów rozkroju mają kryteria służące do oceny uzyskiwanych rozwiązań. Najbardziej "popularnym" kryterium oceny wzorów rozkroju jest wielkość odpadu lub związana z nim wydajność procesu rozkroju. Znaczna większość publikacji dotyczących problematyki rozkroju wykorzystuje właśnie minimalizację odpadu jako funkcję celu. Kryterium to, pomimo dużego znaczenia praktycznego, posiada wiele wad. Z jednej strony bowiem odpad może stanowić jedną większą całość lub składać się z wielu małych części, a z drugiej strony trudno jednoznacznie stwierdzić, co już jest odpadem, a co może być jeszcze wykorzystane.

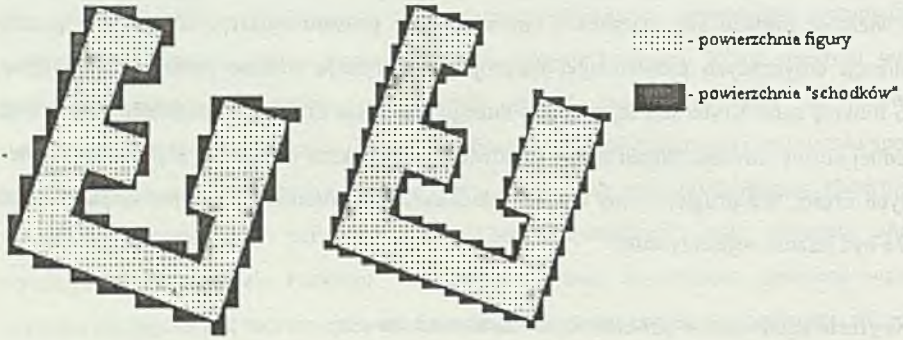
3. Kryteria zgodności w procesie łączenia elementów

Rozwiązanie każdego praktycznego problemu rozkroju materiałów, oprócz określenia strategii wyboru elementów oraz sposobu ich rozmieszczania, wymaga również przygotowania narzędzi umożliwiających bezkolizyjne dosuwanie elementów oraz przyjęcia kryteriów pozwalających na ocenę jakości otrzymywanych rozwiązań. W procesie łączenia elementów uwzględnić należy wymagania technologiczne stawiane przez urządzenie wykorzystywane do realizacji procesu cięcia. Wszystkie stosowane obecnie technologie realizacji procesu cięcia (cięcie laserowe, cięcie plazmowe, wypalanie gazowe, frezowanie, wycinanie na prasach) stawiają warunek, by we wzorze rozkroju uwzględnić fakt, że narzędzie (zwykle przypisuje mu się kształt koła) może swobodnie przemieszczać się pomiędzy elementami. Najprostszym sposobem zapewnienia miejsca dla narzędzia, za pomocą

którego realizujemy proces rozkroju, jest zmodyfikowanie kształtu elementów podstawowych poprzez utworzenie ekwidystanty odległej od bazowego kształtu elementu o wielkość promienia narzędzia. Algorytm generowania ekwidystanty dla elementów płaskich przedstawiono w pracy [16]. Pojęcie "element" w dalszych rozważaniach traktowane będzie jako ekwidystanta "elementu bazowego".

Przed przystąpieniem do analizy procesu dosuwania elementów należy zastanowić się, w jaki sposób modelowany jest kształt elementów będących przedmiotem rozkroju. Najczęściej wykorzystywanymi sposobami są:

- zastosowanie wieloboku, czyli zamkniętego łańcucha połączonych ze sobą odcinków. Uwzględniając możliwość wystąpienia łuków, kształt każdego elementu może być modelowany za pomocą zamkniętego łańcucha wzajemnie połączonych odcinków i łuków,
- zastosowanie wzajemnie prostopadłych odcinków - "schodków".



Rys. 1. Przykład "schodkowej" dyskretyzacji elementów nieregularnych

Fig. 1. An example of "stairs like" discretization

W niniejszej pracy zastosowano modelowanie "schodkowe". Wybór tego sposobu modelowania można uzasadnić:

- możliwością zapisu współrzędnych węzłowych elementów za pomocą liczb całkowitych,
- łatwością mierzenia odległości pomiędzy poszczególnymi elementami (różnica wartości całkowitoliczbowych),

- łatwością zmiany dokładności dyskretyzacji elementów (rys. 1.) pozwalającą na zwiększenie lub zmniejszenie dokładności przybliżania elementów bez zmiany algorytmu użytego do łączenia (dosuwania) elementów,
- faktem, że znaczna liczba elementów będących przedmiotem rozkroju w przemyśle metalowym ma kształt, który zamodelować można za pomocą jednego lub kilku połączonych ze sobą prostokątów.

Do przeprowadzenia analizy wpływu kryteriów zgodności elementów na jakość ich połączenia niezbędne jest wcześniejsze opracowanie algorytmu umożliwiającego automatyczną "schodkową" dyskretyzację.

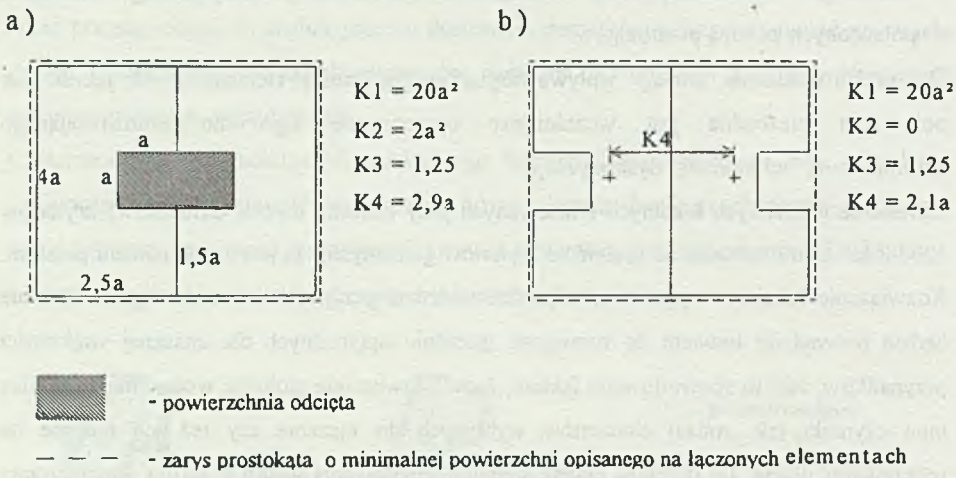
Określenie właściwych lokalnych (stosowanych przy łączeniu dwóch elementów) kryteriów zgodności, które pozwolą na spełnienie kryteriów globalnych, nie jest zagadnieniem prostym. Rozwiązanie lokalnie optymalne, z punktu widzenia przyjętych kryteriów zgodności, nie będzie prowadziło bowiem do rozwiązań globalnie optymalnych dla znacznej większości przypadków. Jest to spowodowane faktem, że na rozwiązanie globalne wpływ mają również inne czynniki, jak: rodzaj elementów wybranych do łączenia czy też ich miejsce na rozkrawanej płycie. Jakąkolwiek jednak strategię generowania wzoru rozkroju chcielibyśmy przyjąć, musimy wcześniej określić kryteria lokalne, które należy zastosować przy łączeniu dwóch elementów. Ze względu na NP-zupełny charakter problemu globalnego, analiza wszystkich możliwych jego rozwiązań nie jest możliwa.

W niniejszej pracy zaproponowano cztery następujące kryteria lokalnej zgodności łączonych elementów:

- pole powierzchni prostokąta (o minimalnej powierzchni) opisanego na łączonych elementach - K1,
- pole powierzchni odciętej (zamkniętej) przez łączone elementy - K2,
- iloraz wymiarów prostokąta opisanego na łączonych elementach - K3,
- odległość środków ciężkości elementów - K4.

Przedstawione powyżej zestawienie kryteriów zgodności powstało na podstawie badań realizowanych za pomocą opracowanego programu komputerowego. Dominującą rolę spełnia kryterium pierwsze. Pozostałe kryteria są jedynie kryteriami uzupełniającymi, a ich znaczenie zostanie przedstawione na przykładach praktycznych. Kryterium oparte na polu powierzchni prostokąta opisanego na łączonych elementach jest kryterium "oczywistym". Jego

minimalizacja prowadzi bowiem wprost do zwiększania współczynnika wykorzystania materiału, co jest całkowicie zgodne z działaniem głównego kryterium globalnego, czyli minimalizacją odpadu. Algorytmy automatycznego generowania wzorów rozkroju zapewnić powinny otrzymywanie optymalnych rozwiązań w różnych praktycznych sytuacjach. Na rys. 2. przedstawiono przykładowe połączenia dwóch elementów w kształcie litery C.



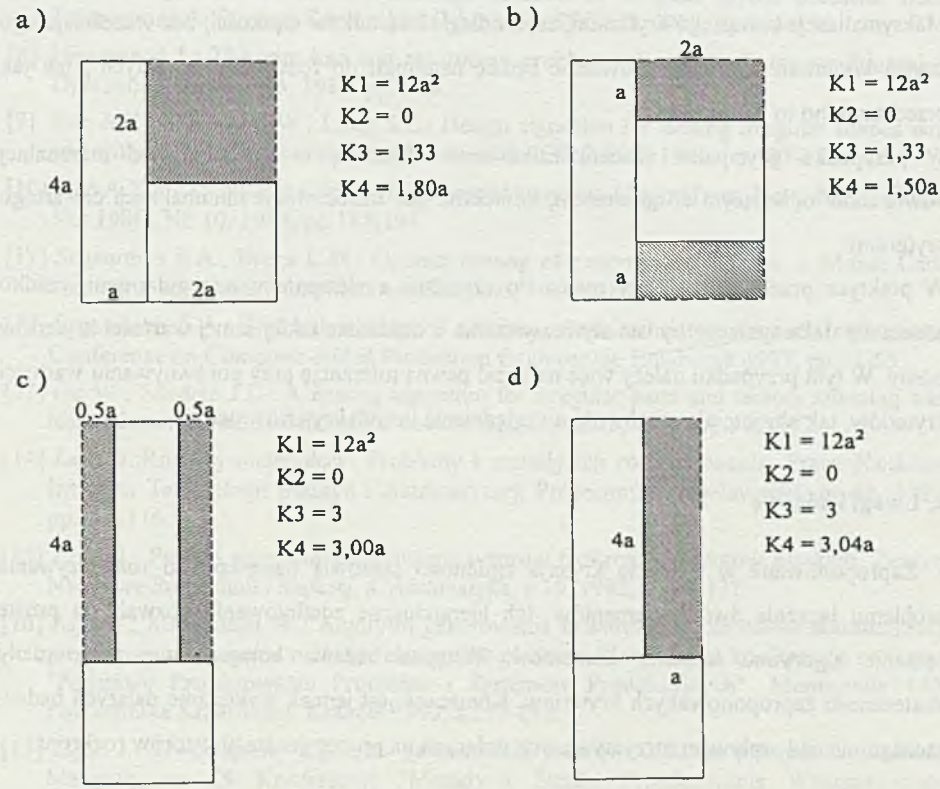
Rys. 2. Zasada wyboru rozwiązania optymalnego za pomocą kryterium pola odciętego

Fig. 2. The role of unusable area in selecting optimal solution

Wielkości K1, K2, K3 i K4 przedstawiają wartości kryteriów optymalizacji dla przyjętych wymiarów geometrycznych. Jak widać, obydwa rozwiązania charakteryzują się tą samą wartością pierwszego kryterium oceny. Na bazie jedynie tego kryterium algorytm nie będzie w stanie wybrać jednoznacznie właściwego rozwiązania. Jest oczywiste, że rozwiązanie przedstawione na rys. 2b jest rozwiązaniem lepszym, gdyż umożliwia "przyszłe" potencjalne wykorzystanie pola powierzchni, co jest wykluczone w sytuacji widocznej na rys. 2a. W przypadku gdy na bazie pierwszego kryterium uzyskujemy więcej niż jedno rozwiązanie, korzystne jest więc uwzględnienie drugiego kryterium, czyli pola powierzchni odciętej (zamkniętej) przez łączone elementy. Kryterium to podlegać będzie minimalizacji.

Kryteria trzecie i czwarte nie są tak oczywiste, jak pierwsze i drugie. Ich przedstawienie tutaj wynika jednak z faktu, że mają zastosowanie do znacznej większości przypadków praktycznych. Wynikają one bowiem z zasady, że w sytuacji, gdy odpad musi

wystąpić, lepiej by był umiejscowiony w jednym miejscu - tak by potencjalnie można go było najefektywniej wykorzystać. Są to więc kryteria o charakterze heurystycznym ale bazujące na logicznie uzasadnionych przesłankach. Zastosować je można w sytuacji, gdy na bazie dwóch poprzednio przedstawionych kryteriów nie można wybrać jednego rozwiązania.



Rys. 3. Przykład przedstawiający rolę kryteriów K3 i K4

Fig. 3. An example describing the role of K3 and K4 criteria

Na rys. 3 przedstawiono taką sytuację. Przykład prezentuje różne warianty połączenia dwóch elementów: kwadratu o wymiarach 2a*2a i prostokąta o wymiarach 4a*1a. Wybrano elementy regularne, aby zwiększyć czytelność przykładu. Wszystkie cztery zaprezentowane na rys. 3 przypadki charakteryzują się tymi samymi wartościami kryterium pierwszego i drugiego. Istnieją dwa możliwe podejścia. Dążenie do połączenia elementów w ten sposób, by

element wynikowy charakteryzował się bardziej równomiernymi proporcjami wymiarowymi, wymaga zastosowania kryterium trzeciego. Przyjęcie jako kryterium wyboru stosunku wymiarów większego do mniejszego (prostokąta opisanego na łączonych elementach) i dążenie do jego minimalizacji spowoduje uzyskanie rozwiązania przedstawionego na rys. 3a. W tym przypadku niezbędne będzie jeszcze użycie jako finalnego - kryterium czwartego. Maksymalizacja czwartego kryterium, czyli odległości środków ciężkości, bez wcześniejszego użycia kryterium trzeciego, prowadzić będzie natomiast do rozwiązań "smukłych", tak jak przedstawiono to na rys. 3d.

W przypadku gdy jeden element całkowicie mieści się w prostokącie o minimalnej powierzchni opisującym drugi element, konieczne jest zastosowanie minimalizacji czwartego kryterium.

W praktyce przemysłowej, gdy mamy do czynienia z elementami nieregularnymi, rzadko zdarza się taka sytuacja, by istniały rozwiązania o dokładnie takiej samej wartości kryteriów oceny. W tym przypadku należy więc narzucić pewną tolerancję przy porównywaniu wartości kryteriów, tak aby istniała możliwość uwzględnienia innych kryteriów oceny.

4. Uwagi końcowe

Zaproponowane w referacie kryteria zgodności stanowią narzędzie do rozwiązywania problemu łączenia dwóch elementów. Ich hierarchiczne zdefiniowanie pozwala na proste opisanie algorytmu łączenia elementów. Wstępne badania komputerowe potwierdziły skuteczność zaproponowanych kryteriów. Konieczne jest jednak wykonanie dalszych badań, szczególnie nad wpływem otrzymywanych połączeń na proces generacji wzorów rozkroju.

LITERATURA

[1] Adamowicz M., Albano A.: Nesting two-dimensional shapes in rectangular modules. Computer Aided Design 8/1, 1976, pp.27-33.

[2] Albano A., Sapuppo G.: Optimal allocation of two-dimensional irregular shapes using heuristic search methods, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 10, 1980, pp.242-248.

[3] Błażewicz J., Drozdowski M., Soniewski B., Walkowiak R.: Two-dimensional cutting stock problem basic complexity results and algorithms for irregular shapes. Foundation od Control Engineering 14, nr 4, 1989, pp.137-160.

[4] Cunninghame-Green R.A.: An Industrial Cutting Problem. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s.Automatyka z.103, 1991, pp.27-38.

[5] Dyckhoff H., Kruse H.-J., Abel D., Gal T.: Trim loss and related problems, Omega 13/1, 1985, pp.59-72.

[6] Dyckhoff H.: A typology of cutting and packing problems, European Journal of Operational Research 44, Number 2, 1990, pp.145-159.

[7] Haims M.J., Freeman H.: A multistage solution of template layout problem, IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC-6/2, 1970, pp.145-151.

[8] Hinxman A.I.: The trim loss and assortment problems: A survey, European Journal of Operational Research 5, 1980, pp.8-18.

[9] Nee A.Y.C., Seow K.W., Long S.L.: Design algorithm for nesting irregular shapes with and without boundary constraints. Annals of the CIRP 35/1, 1986, pp.107-110.

[10] Nee A.Y.C.: Computer aided layout of metal stamping blanks. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol 198B, No 10, 1984, pp.187-194.

[11] Segenreich S.A., Braga L.M.: Optimal nesting of general plane figures: a Monte Carlo heuristical approach, Computers and Graphics, 10/3, 1986, pp.229-237.

[12] Segenreich S.A.: Optimal nesting of arbitrary plane translates, Second International Conference on Computer-Aided Production Engineering, Edinburgh 1987, pp.61-65.

[13] Qu W., Sanders J.L.: A nesting algorithm for irregular parts and factors affecting trim losses, International Journal of Production Research 25/3, 1987, pp.381-397.

[14] Zając J.:Rozkrój materiałów: Problemy i metody ich rozwiązywania. Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, nr 49, 1991, pp.111-116.

[15] Zając J.: Pewien algorytm generowania wzorów rozkroju elementów płaskich. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, z.10, 1992, s.169-177.

[16] Zając J., Małopolski W.: Algorytm generowania ekwidystanty dla celów automatyzacji projektowania wzorów rozkroju elementów płaskich. Materiały na konferencję naukową "Podstawy Projektowania Procesów i Systemów Produkcyjnych". Monografia 150, Politechnika Krakowska, Kraków 1993, s.275-280.

[17] Zając J.: Dwuetapowy algorytm generowania wzorów rozkroju elementów płaskich. Materiały na IX Konferencję "Metody i Środki Projektowania Wspomaganego Komputerowo". Politechnika Warszawska, Warszawa 1993, s.615-622.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Franciszek Marecki

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1994 r.

Abstract

The problem of determining how to cut irregularly-shaped pieces out of a given stock sheet in an optimum manner is a problem of great interest for many industries. The major goal

for a good nesting arrangement is to reduce quantity of scrap. To find a solution of each practical nesting problem a lot of two-pieces clustering problems have to be solved. For that operation it is necessary to prepare tools for nonoverlaping clustering and define local optimization criteria. In the paper a set of hierarchical optimality criteria is proposed. The main criterion is an area of the minimum-area rectangular enclosure of various clusterings. The minimization of this criterion corresponds directly with the minimization of major parts nesting criterion i.e. reduction of the amount of scrap. In many practical situations there are usually more than one acceptable solutions. It is necessary to select the proper solution basing on another criterion. The second criterion used in this article is an unusable area i.e. part of the stock sheet that cannot be allocated by pieces (see Fig.2a). Two more criteria can be used when there is no possibility to find one acceptable solution. Using a quotient of dimensions of the minimum-area rectangular enclosure and a distance between centers of gravity of allocated pieces, thin (see Fig. 3d) or thick (see Fig 3a) solution can be selected.