

ZASTOSOWANIE LOGICZNYCH DRZEW DECYZYJNYCH DO ANALIZY WAD W ETAPIE LutowANIA NA FALI PODCZAS MONTAŻU SMT

1. Wstęp

Drzewa logiczne stanowią metodę, która w sposób graficzny, poprzez wizualizację struktury rozwiązań problemu praktycznego, prezentuje jego rozwiązania. Składają się one z gałęzi ścieżek, na których kodowane są wartości danych zmiennych ułożonych piętrowo (na jednym poziomie może znajdować się tylko jedna zmienna decyzyjna). Rozwiązania prawdziwe (tzn. realizowalne danego problemu organizatorskiego) przedstawiane są jako ścieżki, poprzez wyróżnienie poszczególnych gałęzi od korzenia aż do wierzchołka drzewa. Każda ścieżka prawdziwa stanowi składnik funkcji logicznej, natomiast zbiór wszystkich ścieżek opisuje wszystkie realizowalne rozwiązania danego problemu. Należy także wspomnieć, że zbiór wszystkich ścieżek (również niewyróżnionych) stanowi ogół rozwiązań teoretycznych, z których jedynie te odpowiednio zaznaczone (spełniające warunki zadania) utożsamiane są z rozwiązaniami prawdziwymi [3].

Metodą służącą do optymalizacji strukturalnej rozwiązań problemów – w sensie rangi ważności zmiennych decyzyjnych – są logiczne drzewa decyzyjne, których zasada budowy wygląda tak samo jak tradycyjnych drzew logicznych. Jednakże posiadają one zaletę względem tych drugich, która polega na możliwości zamian pięter, czyli kolejności zmiennych decyzyjnych. Wpływa to na eliminację występowania gałązek izolowanych oraz na możliwość odcinania pełnych wiązek (wyróżnione wszystkie gałązki w danej wiązce, rozpatrywanej od najwyższego piętra – odcinanie z góry na dół). Taki zabieg pozwala na minimalizację gałązek prawdziwych. Jest to korzystne zjawisko z uwagi na fakt, że rozwiązaniem optymalnym jest ta kombinacja zmiennych (najważniejsza zmienna na dole – w korzeniu drzewa), która jest związana z drzewem posiadającym najmniejszą liczbę gałązek prawdziwych (wyróżnionych). Takie drzewo prawidłowo określa rangę badanych zmiennych (parametrów) od najważniejszego (korzeń) do najmniej ważnego (liście) [2]. W przypadku drzew z taką samą najmniejszą liczbą gałązek prawdziwych, wskazane jest traktowanie ich na takim samym poziomie ważności. Jeśli by rozpatrywać problem konstrukcyjny, to nawet minimalna

zmiana wartości najważniejszego parametru może spowodować duże zmiany w zachowaniu się analizowanego układu, a duże zmiany w wartościach liczbowych mało istotnych zmiennych decyzyjnych nie wpływają w znaczny sposób na funkcjonowanie całego układu [1, 2, 3].

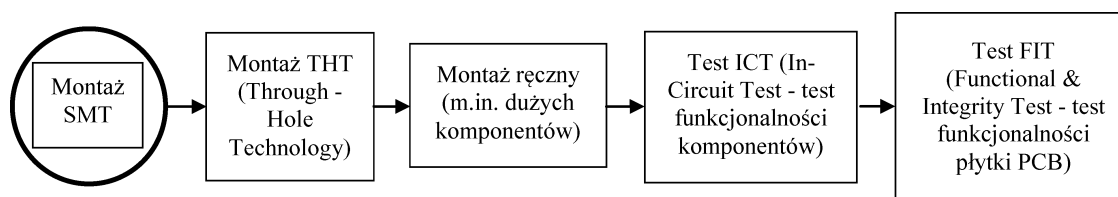
Logiczne drzewa decyzyjne można nie tylko zastosować do optymalizacji układów maszynowych i procesów, ale również do rozwiązywania problemów natury jakościowej, co zostanie przedstawione w niniejszym artykule.

2. Cel i przedmiot badań

Celem przeprowadzenia badań jest ustalenie hierarchii wad wpływających na destabilizację jednego z etapów przebiegu procesu SMT (ang. *surface-mount technology* – montaż powierzchniowy), jakim jest lutowanie na fali, a przez to określenie, które wady powinny zostać w pierwszej kolejności wyeliminowane. Narzędzie, które zostanie w tym celu wykorzystane stanowią logiczne drzewa decyzyjne.

Proces SMT obejmuje montaż podzespołów elektronicznych na płytce obwodu drukowanego. Stanowi on pierwszy etap w produkcji sterowników elektronicznych/elektromechanicznych (rys. 1). Opisany proces jest najczęściej przeprowadzany automatycznie. Elementy, które są w ten sposób montowane to elementy SMD (ang. *surface-mount device*). Cechują się one niewielkimi rozmiarami, płaską obudową oraz dużymi końcówkami lutowniczymi, przybierającymi formę kołnierzy (nóżek), które łączą obudowę komponentu z płytką PCB (ang. *printed circuit boards*, np. tranzystory, kondensatory, oporniki) [4]. Przebieg procesu SMT obejmuje: umieszczenie płytki w maszynie, nakładanie pasty lutowniczej, automatyczny montaż komponentów, lutowanie na fali oraz kontrolę wzrokową i umieszczenie PCB w odpowiedniej skrzynce [5].

Rozpatrując bardziej szczegółowo badany etap montażu SMT, należy wspomnieć, że przebieg lutowania na fali obejmuje: topnikowanie, podgrzewanie wstępne, podgrzewanie wtórne oraz lutowanie na fali. W analizowanym przypadku topnikowanie wykonywane jest metodą natryskową (w ogólnym ujęciu możliwa jest także pianowa oraz falowa). Natomiast podgrzewanie ma na celu skrócenie



Rys. 1. Proces produkcji i testów sterowników elektronicznych

osiągania przez płytkę temperatury ciekłego lutu, odparowanie rozpuszczalnika oraz uaktywnienie topnika. Jego etapowość eliminuje szok cieplny, który może powodować uszkodzenie komponentów lub płytki. W dostępnej technologii jest wykonywany za pomocą fal podczerwieni [6]. Ostatnią, bardzo ważną czynnością jest chłodzenie płytki. Powinno ono być dostosowane do wymagań materiałowych, by nie spowodować szoku termicznego i powstania wewnętrznych naprężeń, co może prowadzić do uszkodzeń płytki i komponentów. W analizowanym przypadku chłodzenie odbywa się za pomocą wody lodowej.

3. Wykonanie badania

Podstawą do przeprowadzenia analizy istotności poszczególnych przyczyn występowania błędów było określenie najczęściej rejestrowanych wad podczas realizacji etapu lutowania na fali. Grupa wad została zdefiniowana na podstawie danych z kart wad wypełnianych po kontroli wzrokowej na końcu badanego etapu oraz wykonanych testach ICT i FIT. Dane pochodziły z okresu obejmującego I kwartał 2012 r. Wyniki zostały przedstawione na rysunku 2.

Otrzymane wyniki nie wskazują jednoznacznie, która z występujących wad w ujęciu przyczynowym w największym stopniu wpływa na zarejestrowany poziom wadliwości produkcji analizowanego modelu sterowników. Gdyby analizować wpływ przyczyn na istnienie kolejnych wad w tabeli 1, to likwidacja awarii maszyny powoduje duże zmniejszenie liczby wadliwych wyrobów wg rysunku 2:

$$0,5 \times 25\% + 1 \times 27\% + 0,5 \times 23\% + 0,33 \times 22\% = 59,76\%$$

natomiast złe ustawienie maszyny i błąd programu odpowiednio coraz mniejsze. Takie postępowanie jedynie w ogólny sposób przedstawia związek przyczyn z wadami, gdyż w praktyce często istnieją różne wpływy kolejnych przyczyn w zakresach wad. Dlatego powyższy rysunek z procentowymi udziałami wad w lutowaniu na fali potraktowano jedynie informacyjnie, natomiast rangę ważności wad na podstawie przyczyn wyznaczono graficznie metodą logicznych drzew decyzyjnych.

W celu określenia hierarchii istotności wad (oraz związanych z nimi przyczyn) zostały wykorzystane logiczne drzewa decyzyjne. Pierwszym krokiem analizy było zdefiniowanie przyczyn występujących wad. Określono je na podstawie

doświadczenia ustawiaczy, brygadzystów oraz inżynierów jakości w wyniku zastosowania metody twórczego rozwiązywania problemów, jaką jest burza mózgów. Zostały wyłonione trzy główne przyczyny, które najczęściej odpowiadają za pojawianie się wskazanych wad, a mianowicie: złe ustawienie maszyny, awaria maszyny oraz błąd programu (tab. 1). Na tym etapie wszystkie są traktowane równo w obrębie danej wady.

Kolejnym krokiem jest zakodowanie zmiennych oraz wartości, które mogą przyjmować. Rezultaty tej operacji zostały przedstawione w tabeli 2. Wadom, jako wielowartościowym

Lp.	Wada	Przyczyna
1.	Przegrzanie PCB	Złe ustawienie maszyny
		Awaria maszyny
2.	Mostek lutowniczy	Awaria maszyny
3.	Zbyt niska temperatura lutowania	Złe ustawienie maszyny
		Awaria maszyny
4.	Brak lutu	Awaria maszyny
		Błąd programu
		Złe ustawienie maszyny

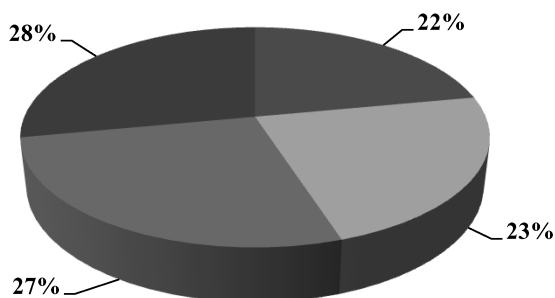
Tab. 1. Przyczyny występowania wad podczas lutowania na fali

Lp.	Wada	Przyczyna
1.	W1	0
		1
2.	W2	1
3.	W3	0
		1
4.	W4	1
		2
		0

Tab. 2. Kodowy zapis przyczyn oraz wad występujących w procesie lutowania na fali

Przybliżony procentowy udział wad w lutowaniu na fali

■ Przegrzanie PCB ■ Mostek lutowniczy ■ Zbyt niska temperatura lutowania ■ Brak lutu



Rys. 2. Przybliżony procentowy udział wad w lutowaniu na fali

zmiennym, logicznym nadano kolejne liczby porządkowe wraz z literą „W” oznaczającą wadę, natomiast przyczyny zakodowano jako cyfry od 0 do 2, gdzie 0 oznacza złe ustawienie maszyny, 1 - awarię maszyny i 2 - błąd programu.

Z punktu widzenia algebry można też zastosować inne kodowania, gdyż dwa zbiory skończone o jednakowej liczbie elementów są izomorficzne, czyli mają własności odwzorowane jednoznacznie. Zakłada się, że stopień wpływu przyczyn na występowanie poszczególnych wad jest taki sam w obrębie każdej grupy.

Zgodnie z zasadami wykorzystywanej metody istnieją 24 drzewa ($4! = 24$) ze względu na permutowanie zmiennych oraz 81 rozwiązań teoretycznych ($3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$). Wszystkie rozwiązania z tabeli 2 wyznaczają zbiór rozwiązań prawdziwych. Tabela 3 przedstawia wszystkie rozwiązania teoretyczne wg tablicy morfologicznej oraz rozwiązania

L.p. rozw. teoretycznych	W1	W2	W3	W4	Rozw. prawdziwe	L.p. rozw. prawdziwych	L.p. rozw. teoretycznych	W1	W2	W3	W4	Rozw. prawdziwe	L.p. rozw. prawdziwych
1	0	0	0	0	nie		41	1	1	1	1	tak	11
2	0	0	0	1	nie		42	1	1	1	2	tak	12
3	0	0	0	2	nie		43	1	1	2	0	nie	
4	0	0	1	0	nie		44	1	1	2	1	nie	
5	0	0	1	1	nie		45	1	1	2	2	nie	
6	0	0	1	2	nie		46	1	2	0	0	nie	
7	0	0	2	0	nie		47	1	2	0	1	nie	
8	0	0	2	1	nie		48	1	2	0	2	nie	
9	0	0	2	2	nie		49	1	2	1	0	nie	
10	0	1	0	0	tak	1	50	1	2	1	1	nie	
11	0	1	0	1	tak	2	51	1	2	1	2	nie	
12	0	1	0	2	tak	3	52	1	2	2	0	nie	
13	0	1	1	0	tak	4	53	1	2	2	1	nie	
14	0	1	1	1	tak	5	54	1	2	2	2	nie	
15	0	1	1	2	tak	6	55	2	0	0	0	nie	
16	0	1	2	0	nie		56	2	0	0	1	nie	
17	0	1	2	1	nie		57	2	0	0	2	nie	
18	0	1	2	2	nie		58	2	0	1	0	nie	
19	0	2	0	0	nie		59	2	0	1	1	nie	
20	0	2	0	1	nie		60	2	0	1	2	nie	
21	0	2	0	2	nie		61	2	0	2	0	nie	
22	0	2	1	0	nie		62	2	0	2	1	nie	
23	0	2	1	1	nie		63	2	0	2	2	nie	
24	0	2	1	2	nie		64	2	1	0	0	nie	
25	0	2	2	0	nie		65	2	1	0	1	nie	
26	0	2	2	1	nie		66	2	1	0	2	nie	
27	0	2	2	2	nie		67	2	1	1	0	nie	
28	1	0	0	0	nie		68	2	1	1	1	nie	
29	1	0	0	1	nie		69	2	1	1	2	nie	
30	1	0	0	2	nie		70	2	1	2	0	nie	
31	1	0	1	0	nie		71	2	1	2	1	nie	
32	1	0	1	1	nie		72	2	1	2	2	nie	
33	1	0	1	2	nie		73	2	2	0	0	nie	
34	1	0	2	0	nie		74	2	2	0	1	nie	
35	1	0	2	1	nie		75	2	2	0	2	nie	
36	1	0	2	2	nie		76	2	2	1	0	nie	
37	1	1	0	0	tak	7	77	2	2	1	1	nie	
38	1	1	0	1	tak	8	78	2	2	1	2	nie	
39	1	1	0	2	tak	9	79	2	2	2	0	nie	
40	1	1	1	0	tak	10	80	2	2	2	1	nie	
							81	2	2	2	2	nie	

Tab. 3. Tabela rozwiązań teoretycznych oraz prawdziwych badanego problemu decyzyjnego

prawdziwe określone przez dane z tabeli 1 i 2. Zgodnie z przeprowadzoną analizą jest 12 rozwiązań prawdziwych. Taka sytuacja ma miejsce, ponieważ zmienna logiczna W1 nie przyjmuje wartości 2 (błąd programu nie jest przyczyną przegrzania płytki PCB), zmienna W2 wartości 0 oraz 2 (mostek lutowniczy nie powstaje w wyniku złego ustawienia maszyny, czy błędu programu), a W3 wartości 2 (błąd programu nie wpływa negatywnie na wysokość temperatury). Wymienione przypadki nie mają miejsca podczas produkcji badanego modelu sterowników w określonym czasie, można zatem stwierdzić, że należą do rozwiązań sprzecznych.

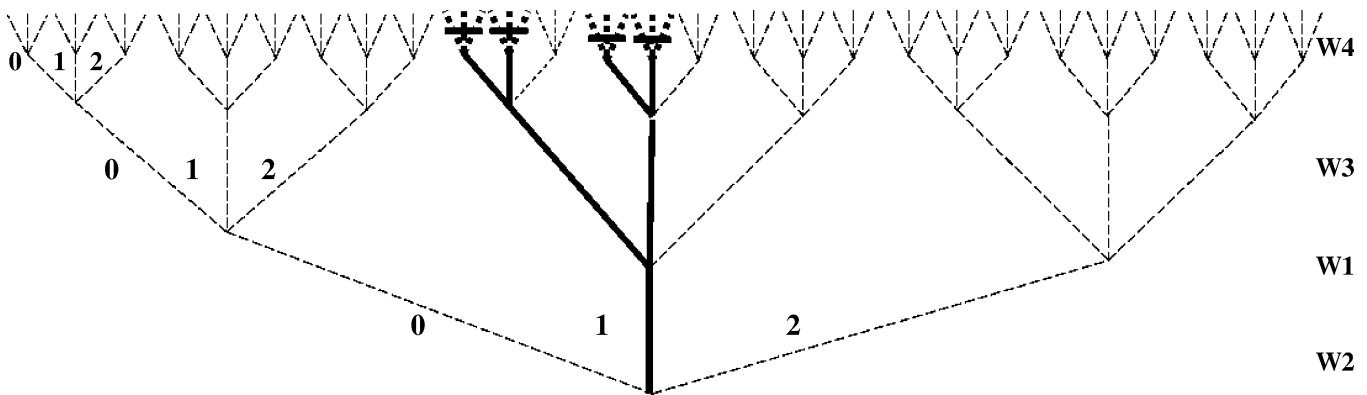
Na podstawie danych z tabeli 3 zostały wygenerowane 24 logiczne drzewa decyzyjne. Na każdym ich piętrze istniała tylko jedna, trójwartościowa zmienna decyzyjna (W1, W2, W3 lub W4). Za sprawą możliwości odcinania pełnych wiązek (minimalizacji funkcji logicznej) od góry drzewa do dołu, która jest nazwana w logice matematycznej operacją sklejania, możliwe jest otrzymywanie podrozwiązań prawdziwych, które zawierają jedynie najważniejsze informacje względem optymalności podjęcia decyzji. Tabela 4

przedstawia wszystkie kombinacje pięter logicznych drzew decyzyjnych wraz z liczbą gałązek prawdziwych. Kolorem wyróżnionym zostały zaznaczone rozwiązania optymalne traktowane równorzędnie. Wskazane kombinacje pięter zmiennych zostały przedstawione na rysunku 1 i 2.

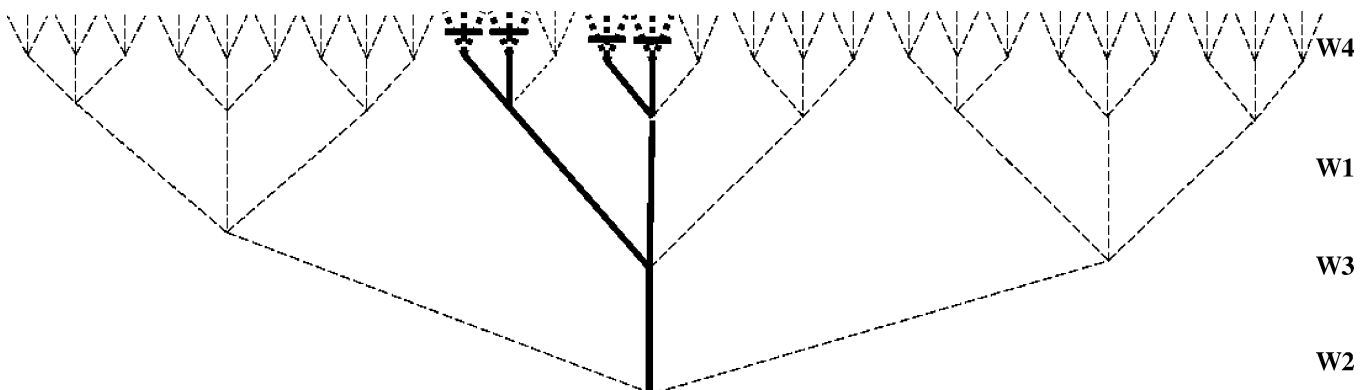
Jak pokazują logiczne drzewa decyzyjne (rys. 3-4) możliwe było wykonanie operacji odcięcia pełnych wiązek. Dzięki temu, najlepsze logiczne drzewa decyzyjne posiadają po 7 gałązek prawdziwych, a nie po 19 gałązek. Taki zabieg był uzasadniony, ponieważ bez względu na to, czy parametr W4 w przedstawionej kombinacji zmiennych przyjmie wartość logiczną 0, 1 czy 2, to całe wyrażenie będzie prawdziwe. Odnosząc się do przykładu praktycznego najważniejszą wadą jest mostek lutowniczy, mniej ważny (choć do porównania ze sobą) są przegrzanie PCB i zbyt niska temperatura lutowania, a najmniej ważna brak lutu. Ponieważ wady są ustalonymi piętrami logicznego drzewa decyzyjnego, a gałęzie ustalonymi przyczynami, to każda ścieżka z dołu do góry drzewa decyzyjnego jest ciągiem (konjunkcją) odpowiednich przyczyn określających ich wpływ na istniejącą wadę.

L.p. drzewa	Kolejność zmiennych logicznych				Liczba gałęzi prawdziwych
1	W1	W2	W3	W4	8
2	W1	W2	W4	W3	22
3	W1	W3	W2	W4	10
4	W1	W3	W4	W2	30
5	W1	W4	W2	W3	26
6	W1	W4	W3	W2	30
7	W2	W1	W3	W4	7
8	W2	W1	W4	W3	21
9	W2	W3	W1	W4	7
10	W2	W3	W4	W1	21
11	W2	W4	W3	W1	22
12	W2	W4	W1	W3	22
13	W3	W1	W2	W4	10
14	W3	W1	W4	W2	30
15	W3	W2	W1	W4	8
16	W3	W2	W4	W1	22
17	W3	W4	W1	W2	30
18	W3	W4	W2	W1	26
19	W4	W1	W2	W3	27
20	W4	W1	W3	W2	33
21	W4	W2	W1	W3	24
22	W4	W2	W3	W1	24
23	W4	W3	W1	W2	33
24	W4	W3	W2	W1	27

Tab. 4. Kombinacje zmiennych decyzyjnych wraz z odpowiadającą im liczbą gałęzi prawdziwych



Rys. 3. Logiczne drzewo decyzyjne o układzie pięter W2 W1 W3 W4



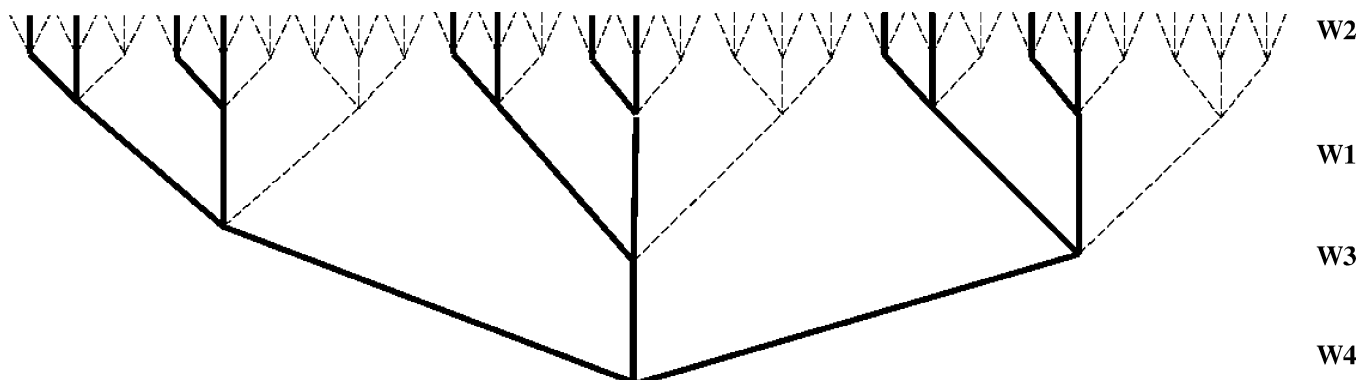
Rys. 4. Logiczne drzewo decyzyjne o układzie pięter W2 W3 W1 W4

Drzewa o największej liczbie gałązek prawdziwych (czyli z największym błędem oceny rangi ważności W1, W2, W3, W4) występują wówczas, gdy najważniejszą wadą jest brak lutu, następnie przegrzanie PCB i zbyt niska temperatura lutowania (zamiennie) oraz najmniej ważne staje się przeciwdziałanie błędowi występowania mostków lutowniczych. Posiadają one aż 33 gałązki prawdziwe. Są to najgorsze rozwiązania problemu. Należy również wspomnieć, że nie było możliwe zastosowanie podczas ich opracowywania odcinanie pełnych wiązek (rys. 5-6).

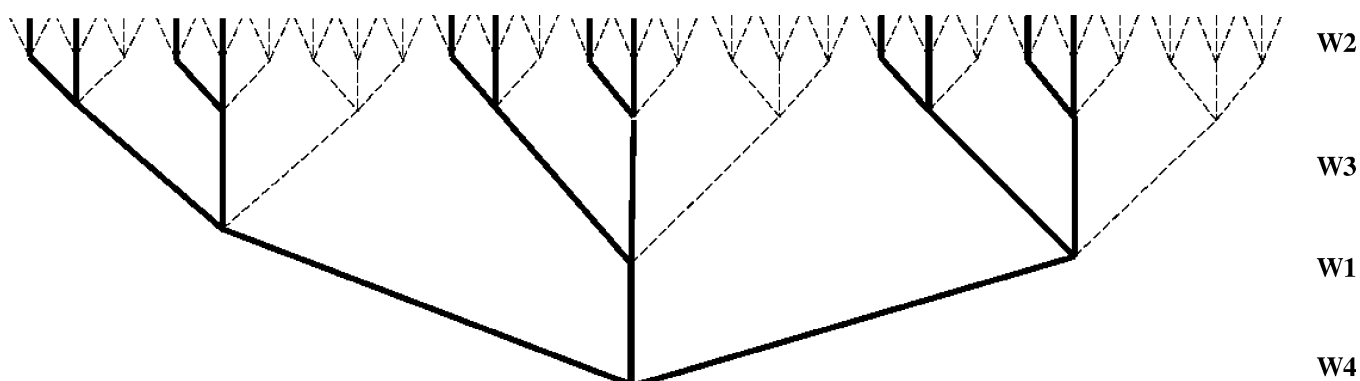
3.1. Szczegółowa analiza zmiennych decyzyjnych

Podczas generowania logicznych drzew decyzyjnych zostały zauważone następujące zależności:

1. Bardzo duża różnica między liczbą gałązek prawdziwych, spowodowana zamianą pięter między zmiennymi W4 i W3 (tab. 5).
2. Taka sama sytuacja (jak w punkcie pierwszym) ma miejsce w przypadku umieszczenia zmiennych W1 oraz W4 na 3 i 4 piętrze drzewa decyzyjnego (tab. 6).
3. Drzewa, które posiadają zmienną W4 na ostatnim piętrze przeważnie mają najmniejszą liczbę gałązek prawdziwych (tab. 7).
4. W każdym rozwiązaniu prawdziwym, gdy dwa rozwiązania różnią się między sobą jedynie na dwóch miejscach zmiennymi W3 i W1, to drzewa posiadają identyczną liczbę gałązek prawdziwych (tab. 8).
5. Rozwiązanie optymalne łączy w sobie wcześniej wymienione zależności. Wada W4 jest na ostatnim miejscu (najmniej ważna) oraz wada W3 i W1 traktowane są na równi pod względem ważności. Natomiast najważniejsza jest wada W2 (tab. 9).
6. Odcinanie pełnych wiązek wpłynęło na fakt, że przyczyna, jaką jest błąd programu nie powinna być przedmiotem prowadzonych działań korygujących. Błąd programu był odpowiedzialny tylko za występowanie braku lutu (zmienna W4).
7. W rozpatrywanym przykładzie im więcej wartości mogła przyjąć dana zmienna w rozwiązaniu prawdziwym, tym na wyższym poziomie drzewa została umieszczona w rozwiązaniu optymalnym. W zapisie kodowym zmienna najważniejsza przyjmuje wartość 1, natomiast najmniej istotna zmienna charakteryzowana jest przez wartości 0, 1, 2.
8. Dodatkowo w celu sprawdzenia zidentyfikowanych zależności zostały obliczone średnie arytmetyczne liczby gałązek prawdziwych w poszczególnych grupach wad, których skład wyznaczają wady znajdujące się w korzeniu drzewa (istnieją 4 grupy wad – W1, W2, W3, W4, z których każda obejmuje po 6 drzew logicznych – tab. 10). Najniższą średnią arytmetyczną gałązek prawdziwych otrzymała grupa W2 (najistotniejsza wg analizy logicznych drzew decyzyjnych), następnie wada W3 i W1 są tak samo istotne, a na ostatnim miejscu W4 (najmniej ważna), co widać informacyjnie z rysunków 3-4 i tabeli 4.



Rys. 5. Logiczne drzewo decyzyjne o układzie pięter W4 W3 W1 W2



Rys. 6. Logiczne drzewo decyzyjne o układzie pięter W4 W1 W3 W2

4. Wnioski

Wykonanie badań obejmowało wykorzystanie logicznych drzew decyzyjnych do przeprowadzenia analizy wad lutowania na fali realizowanej podczas montażu SMT określonego modelu sterowników pod kątem ustalenia hierarchii ich ważności z uwzględnieniem przyczyn, które leżą u źródła ich powstawania. Eliminacja przyczyn zgodnie z istotnością wad, które są ich skutkiem, powinna stać się wytyczną dla zarządzających odpowiedzialnych za jakość wyrobów i płynność przebiegu badanego procesu. Przeprowadzona analiza była celowa z uwagi na brak możliwości otrzymania jednoznacznej odpowiedzi dot. stopnia wpływu każdej

wady na wadliwość, udzielonej na podstawie danych z kart wad oraz testów ICT i FIT (wszystkie na podobnym poziomie – ok. 25% udziału w ogólnym poziomie błędów). Zastosowano metodę logicznych drzew decyzyjnych, która na podstawie przyczyn wpływających na powstawanie analizowanych wad (brak lutu, mostek lutowniczy, zbyt niska temperatura lutowania, przegrzanie PCB) określiła optymalną kolejność ich eliminowania (zgodnie z ich ważnością – wpływem na występowanie wadliwości). Według wyników analizy w pierwszej kolejności należy przeciwdziałać przyczynom powstawania mostków lutowniczych (tj. awaria maszyny), następnie – bez względu na kolejność – przegrzania PCB i zbyt niskiej temperatury

Lp. drzewa	Kolejność zmiennych logicznych				Liczba gałęzi prawdziwych
1	W1	W2	W3	W4	8
2	W1	W2	W4	W3	22
7	W2	W1	W3	W4	7
8	W2	W1	W4	W3	21

Tab. 5. Liczba gałęzi prawdziwych w drzewach mających na 3 i 4 piętrze zmienne W3 lub W4

Lp. drzewa	Kolejność zmiennych logicznych				Liczba gałęzi prawdziwych
9	W2	W3	W1	W4	7
10	W2	W3	W4	W1	21
15	W3	W2	W1	W4	8
16	W3	W2	W4	W1	22

Tab. 6. Liczba gałęzi prawdziwych w drzewach mających na 3 i 4 piętrze zmienne W1 lub W4

Lp. drzewa	Kolejność zmiennych logicznych				Liczba gałęzi prawdziwych
1	W1	W2	W3	W4	8
2	W1	W2	W4	W3	22
3	W1	W3	W2	W4	10
4	W1	W3	W4	W2	30
5	W1	W4	W2	W3	26
6	W1	W4	W3	W2	30
7	W2	W1	W3	W4	7
8	W2	W1	W4	W3	21
9	W2	W3	W1	W4	7
10	W2	W3	W4	W1	21
11	W2	W4	W3	W1	22
12	W2	W4	W1	W3	22
13	W3	W1	W2	W4	10
14	W3	W1	W4	W2	30
15	W3	W2	W1	W4	8
16	W3	W2	W4	W1	22
17	W3	W4	W1	W2	30
18	W3	W4	W2	W1	26
19	W4	W1	W2	W3	27
20	W4	W1	W3	W2	33
21	W4	W2	W1	W3	24
22	W4	W2	W3	W1	24
23	W4	W3	W1	W2	33
24	W4	W3	W2	W1	27

Tab. 7. Liczba gałęzi prawdziwych w drzewach ze zmienna W4 na ostatnim piętrze

L.p. drzewa	Kolejność zmiennych logicznych				Liczba gałęzi prawdziwych
1	W1	W2	W3	W4	8
15	W3	W2	W1	W4	8
2	W1	W2	W4	W3	22
16	W3	W2	W4	W1	22
3	W1	W3	W2	W4	10
13	W3	W1	W2	W4	10
4	W1	W3	W4	W2	30
14	W3	W1	W4	W2	30
5	W1	W4	W2	W3	26
18	W3	W4	W2	W1	26
6	W1	W4	W3	W2	30
17	W3	W4	W1	W2	30
7	W2	W1	W3	W4	7
9	W2	W3	W1	W4	7
8	W2	W1	W4	W3	21
10	W2	W3	W4	W1	21
11	W2	W4	W3	W1	22
12	W2	W4	W1	W3	22
19	W4	W1	W2	W3	27
24	W4	W3	W2	W1	27
20	W4	W1	W3	W2	33
23	W4	W3	W1	W2	33
21	W4	W2	W1	W3	24
22	W4	W2	W3	W1	24

Tab. 8. Klasyfikacja rozwiązań prawdziwych względem rozwiązań różniących się tylko na dwóch miejscach zmienną W1 i W3

L.p. drzewa	Kolejność zmiennych logicznych				Liczba gałęzi prawdziwych
7	W2	W1	W3	W4	7
9	W2	W3	W1	W4	7

Tab. 9. Rozwiązania optymalne

L.p. drzewa	Kolejność zmiennych logicznych				Liczba gałęzi prawdziwych	Średnia arytmetyczna liczby gałęzi prawdziwych
1		W2	W3	W4	8	21
2		W2	W4	W3	22	
3	W1	W3	W2	W4	10	
4		W3	W4	W2	30	
5		W4	W2	W3	26	
6		W4	W3	W2	30	
7	W2	W1	W3	W4	7	17
8	W2	W1	W4	W3	21	
9	W2	W3	W1	W4	7	
10		W3	W4	W1	21	
11	W2	W4	W3	W1	22	
12		W4	W1	W3	22	
13		W1	W2	W4	10	21
14		W1	W4	W2	30	
15	W3	W2	W1	W4	8	
16		W2	W4	W1	22	
17		W4	W1	W2	30	
18		W4	W2	W1	26	
19		W1	W2	W3	27	28
20		W1	W3	W2	33	
21	W4	W2	W1	W3	24	
22		W2	W3	W1	24	
23		W3	W1	W2	33	
24		W3	W2	W1	27	

Tab. 10. Sprawdzenie otrzymanych wyników

lutowania (taki sam wpływ na występowanie błędów), które są wynikiem złego ustawienia maszyny i występowania awarii maszyny. Za sprawą możliwości zastosowania minimalizacji zmiennych logicznych (odcinanie pełnych wiązek) w praktycznym ujęciu, po wyeliminowaniu wskazanych wad, nie jest konieczne ustalanie działań korygujących dot. przyczyn powstawania wady, jaką jest brak lutu. Takie podejście spowodowało, że błąd programu nie powinien być przedmiotem prowadzonych działań korygujących. Wskazana przyczyna była odpowiedzialna tylko za występowanie braku lutu (zmienna W4).

Podsumowując można stwierdzić, że:

1. Najmniej ważna wada to brak lutu – W4 (sposzczenie 1, 2, 3, 5, 8).
2. Najważniejszą wadą jest mostek lutowniczy – W2 (sposzczenie 5, 8)
3. Przegrzanie płytki i zbyt niska temperatura lutowania są równoważne – W1, W3 (sposzczenie 1 i 2, 4, 5, 8).
4. Hierarchia działań korygujących powinna mieć na celu kolejno eliminację:
 - awaryjności maszyn do montażu SMT,
 - pomyłek w ustawieniu maszyny przez pracowników.
5. Optymalne rozwiązanie nie wymaga prowadzenia działań mających na celu przeciwdziałanie błędom programu.

Zastosowanie logicznych drzew decyzyjnych było pomocne w określeniu zadań priorytetowych mających na celu usprawnienie lutowania na fali, realizowanym jako jeden z etapów procesu montażu SMT. Jako dalsze uogólnienia i modyfikacje analizowanego zagadnienia należy zbadać rangę ważności wad przy zachowaniu różnego wpływu poszczególnych przyczyn.

Literatura:

- [1] Deptuła A., Łuszczyna R., Partyka M.A.: *Zastosowanie graficznych struktur decyzyjnych w metodologii projektowania i zarządzania na przykładzie CAD układów maszynowych*, Studia i Monografie, Zeszyt nr 315. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2012, s. 105.
- [2] Partyka M.A.: *Optymalizacja dyskretna pompy wrotowej śmigłowej w ruchu turbinowym. Zastosowanie wielowartościowych drzew logicznych*, [w:] *Napędy i sterowanie, nr 1 (57)*. Wydawnictwo DRUK-ART SC. Racibórz 2004, s. 36-37.
- [3] Partyka M.A.: *Algorytm Quine'a-Mc Cluskeya minimalizacji indywidualnych cząstkowych wielowartościowych funkcji logicznych*, Studia i Monografie Nr 109, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 1999.
- [4] Sadowińska M.: *Analiza głównych przyczyn występowania błędów na etapie montażu SMT w produkcji programatorów SX50*, [w:] *Młodzież wobec wyzwań globalnych*, red. A. Prusińska, J. Sosnowski. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Siedlce 2012, s. 151.
- [5] Sadowińska M.: *Wykorzystanie metody FMEA do analizy procesu montażu SMT*, [w:] *Wybrane aspekty zarządzania jakością*, red. M. Solerno-Kochan. Wydawnictwo Naukowe PTTŻ, Kraków 2013, s. 305.

- [6] www.dsod.pl/materials/IM2_02.pdf, (dostęp 29.06.2013); Politechnika Łódzka, Katedra Przynządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych.

APPLICATION OF LOGICAL DECISION TREES TO ANALYSIS OF DEFECTS AT THE STAGE OF WAVE SOLDERING DURING THE SMT PROCESS

Key words:

SMT process, wave soldering, decision trees, logical decision trees.

Abstract:

Decision trees are a logical method, which graphically presents the solution of logical function. They consist of the branch on which the data are coded variables. Solutions are presented as the true path. The method used to optimize the solution functions are logical decision trees, the construction of which the principle is the same as the logical trees. They make it possible to eliminate the occurrence of twigs isolated and cut off the full beam. This procedure allows to minimize the real twigs. This is advantageous due to the phenomenon that the optimal solution is the combination of variables, which is associated with the tree having the smallest number of real branches. This tree defines the status of the variables tested from most to least important. The purpose of the study was to determine the hierarchy of defects affecting the destabilization of one of the stages of the process SMT (surface mount), which is the wave soldering, and by this determine which should be eliminated in the first place. A tool that has been used for this purpose was a logical decision trees. According to the results of the analysis in the first place should prevent the causes of the formation of solder bridges (machine failure), then-without regard to the order-of overheating the PCB and too low solder temperature (the same effects on the occurrence of errors), which are the result of poor machine settings and the occurrence of machine failure. Thanks to the possibility of using minimization of logical variables (cutting off the full beam) in practical terms, the elimination of identified defects, it is necessary to determine the corrective action regarding the causes of defects, namely the lack of solder. This approach meant that the error should not be the subject of corrective action performed. The indicating reason was responsible only for the occurrence of the lack of solder. The using of logical decision trees could help identify priorities for improvements to the wave soldering realized as part of a process of SMT assembly.

Mgr inż. Milena SADOWIŃSKA

milenasadowinska@wp.pl