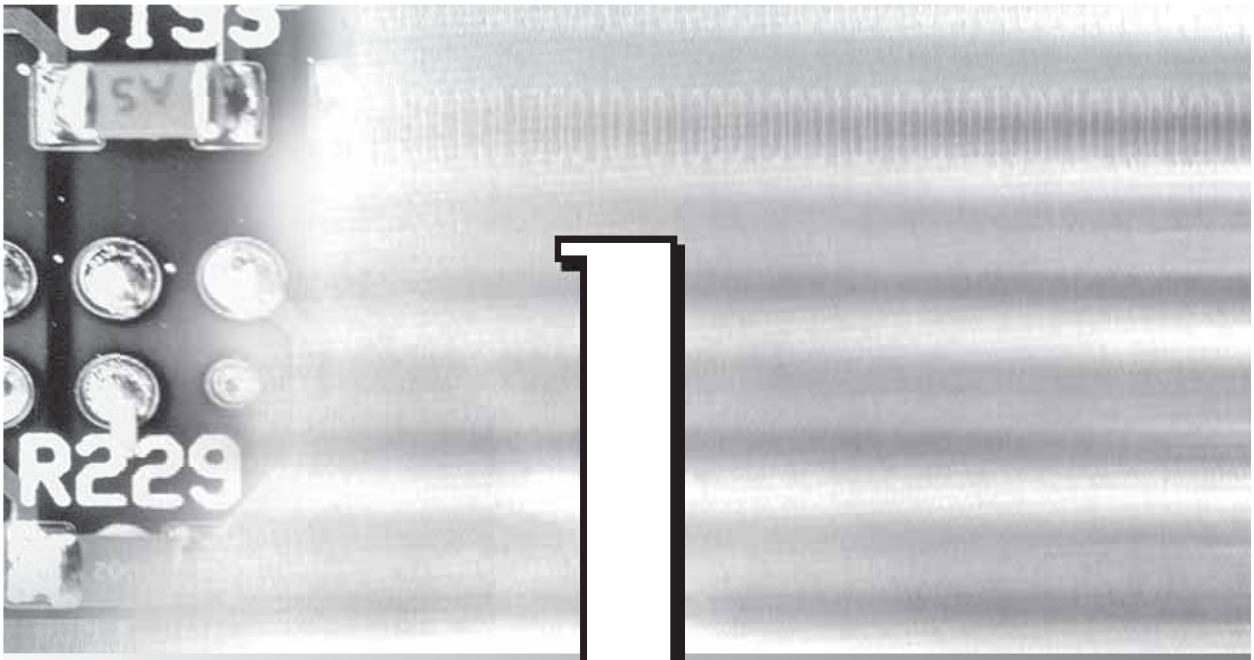
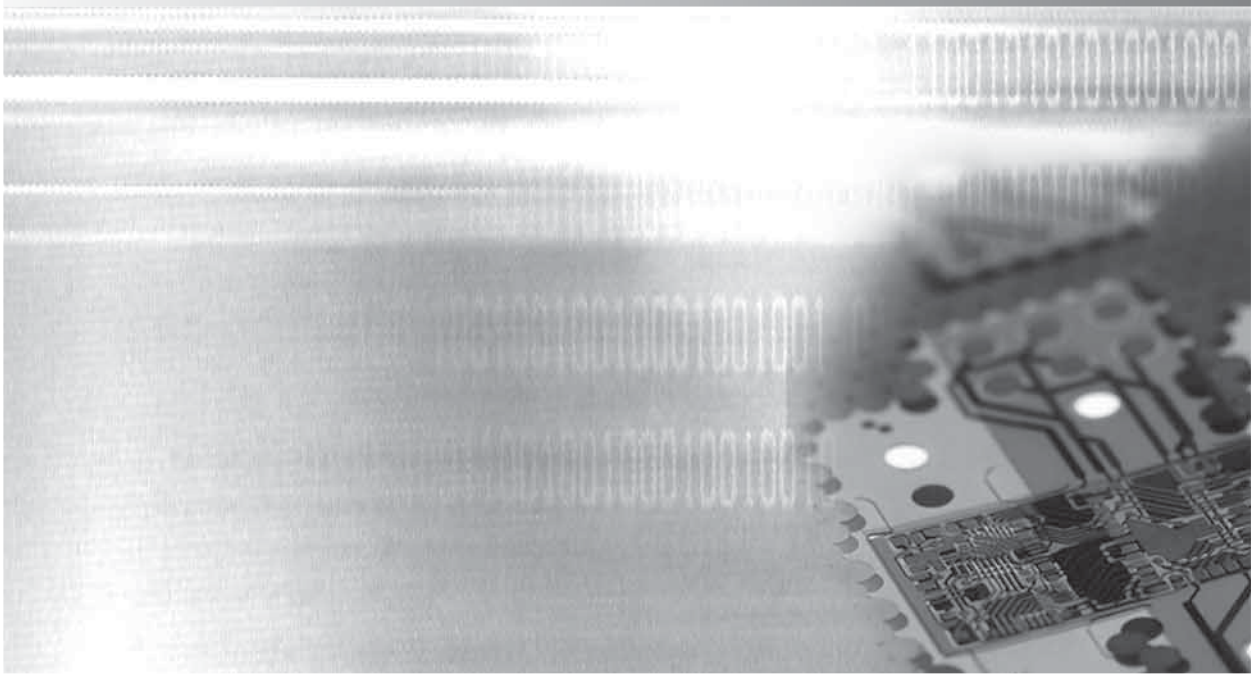


1

Procesy lutowania w świetle dyrektyw Unii Europejskiej



Lutowanie jest jedną z najstarszych technik wymyślonych przez człowieka, świadczy o tym na przykład malowidło ścienne z grobowca w Tebach (**rysunek 1.1**) [1].

W elektronice od ponad 50. lat mocną pozycję ma proces lutowania eutektycznymi lub bliskoeutektycznymi stopami cynowo-ołowiowymi, ze względu na swoje unikalne właściwości fizyczne (**tabela 1.1**), dostępność i względnie niską cenę [2].

Najważniejszą jednak zaletą spoiw cynowo-ołowiowych jest to, że nadają się one zarówno do wykonywania połączeń lutowniczych, jak również na pokrycia ścieżek i pól lutowniczych na płytkach drukowanych oraz na pokrycia końcówek i wyprowadzeń podzespołów, zapewniając płytkom drukowanym i podzespołom odpowiednią lutowność.

Rosnąca świadomość zagrożenia ekosystemu człowieka sprawiła, że od kilkunastu lat baczniej zwraca się uwagę na sprawy związane z ekologią, również w elektronice.

Roczne światowe zużycie ołowiu szacuje się na 3–4 miliardów ton, podczas gdy zużycie ołowiu w stopach cynowo-ołowiowych, stosowanych do lutowania w elektronice, wynosi 14–25 tys. ton, a więc zaledwie 0,5% ogółu światowego zużycia ołowiu (**tabela 1.2**). Dlaczego zatem wyeliminowanie ołowiu z procesu lutowania w elektronice jest tak ważne, skoro jego zużycie nie jest wysokie?

Ołów zaliczany jest do tzw. neurotoksyn, czyli trucizn mózgu, podobnie zresztą jak kadm i nikiel. Ołów jest tylko jedną z kilkudziesięciu neurotoksyn w naszym środowisku, ale jedyną, którą dokładnie zbadano [5]. Powoduje on nieodwracalne uszkodzenie mózgu w stopniu zależnym od dawki. Trzeba pamiętać, że mózg jest szczególnym organem, którego uszkodzone komórki nie odnawiają się. W miarę starzenia się, ubywa neuronów w mózgu człowieka i jest to proces zupełnie naturalny. Jeżeli jednak w środowisku jest dużo różnorodnych neurotoksyn, straty neuronów mogą być znacznie większe, a połączenia między nimi zostają uszkodzone, co zmniejsza sprawność myślenia. Zmiany te mogą powodować również błędne połączenia neuronów. Niektóre zmiany w psychice są skutkiem takich błędnych połączeń.

Rys. 1.1. Niewolnik lutujący złoto. Malowidło ścienne z grobowca w Tebach, Egipt ok. 1475 r. p.n.e.

Tab. 1.1. Właściwości fizyczne spoiw cynowo-ołowiowych stosowanych w elektronice

Właściwość	Jednostka	Sn63Pb37	Sn60Pb40	Sn62Pb36Ag2
Temperatura przemiany: Solidus Likwidus	°C	 183 183	 183 190	 179 179
Zakres plastyczności	°C	0	7	0
Przewodność elektryczna	$10^4\ \Omega^{-1}\ cm^{-1}$	6,9	6,9	6,8
Przewodność cieplna	W/mK (w 300 K)	50,9	49,8	49,0
Współczynnik rozszerzalności cieplnej (CTE)	10^{-6}/°C (w 293 K)	25	24,1	21,0
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	33,3	37,3	–
Wydłużenie względne	%	29	56	52

Ołów wpływa również niekorzystnie na układ krwionośny człowieka, powodując niedokrwistość. Stwierdzono też mutagenne, rakotwórcze, embriotoksyczne działanie ołowiu, a także jego ujemny wpływ na rozrodczość.

W Polsce dla ołowiu i jego związków nieorganicznych ustalono NDS, czyli najwyższe dopuszczalne stężenie w powietrzu, na poziomie 0,05 mg/m^3. Dla porównania wartość NDS we Francji wynosi 0,015 mg/m^3, w Niemczech 0,10 mg/m^3, a w USA – 0,03 mg/m^3 [5, 6].

Nasuwa się kolejne pytanie: dlaczego restrykcje, w postaci dyrektywy RoHS [7], która wprowadza ograniczenia stosowania ołowiu, dotykają producentów wyrobów elektronicznych, a nie producentów baterii, którzy zużywają 80% światowego zapotrzebowania na ołów?

W elektronice przez 50 lat do lutowania stosowano materiały z ołowiem, należały do nich spoiwa lutownicze zawierające do 40% ołowiu, powłoki lutowne na płytkach drukowanych, w większości wykonane ze stopu SnPb, wyprowadzenia i końcówki podzespołów elektronicznych pokryte tym samym stopem, co powłoki na płytkach drukowanych i najczęściej tym samym stopem, który służył do lutowania, czyli wytarzania zespołów elektronicznych. Zespoły elektroniczne znajdowały zastosowanie w wielu różnorodnych wyrobach elektronicznych, takich

Tab. 1.2. Roczne światowe zużycie ołowiu [3, 4]

Produkt	Zużycie	
	Ilość [kT]	%
Baterie	2 283,1	80,81
Tlenki ołowiu (farby, szkło, ceramika, pigmenty i chemikalia)	136,2	4,78
Amunicja	133,7	4,69
Płyty ołowiowe	51,0	1,79
Pokrycie kabli	39,9	1,40
Materiały odlewnicze	32,2	1,13
Mosiądze i brązy	20,5	0,72
Rury, syfony itp.	20,5	0,72
Luty (poza elektroniką)	20,0	0,70
Luty (elektronika)	14,0	0,49
Pozostałe	78,9	2,77

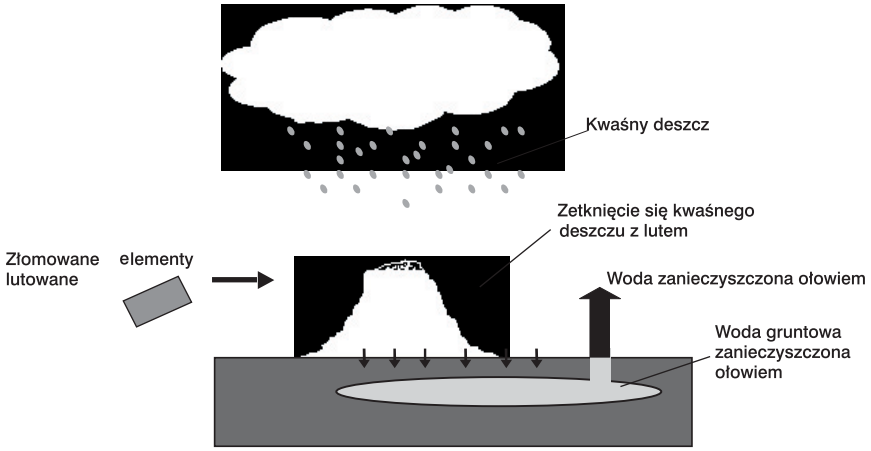
jak: telewizory, telefony, komputery, lodówki, pralki, sprzęt oświetleniowy, sprzęt medyczny, elektronika samochodowa. Ołów w wyrobach elektronicznych jest bardzo rozproszony i bardzo trudny do odzysku. Na tak niewielkie, zdawałoby się, zużycie ołowiu składają się miliony ton odpadów elektronicznych składowanych na wysypiskach [8]. Dla przykładu: ilość odpadów elektronicznych w Europie w roku 2000 wynosiła 6 mln ton, w tym było 25 mln odbiorników TV, a prognoza Komisji Europejskiej przewiduje podwojenie tej liczby w roku 2012 [9]. Można zatem powiedzieć, że rozproszenie ołowiu w wielu wyrobach elektronicznych, trafiających po zużyciu na wysypiska śmieci, a nie ilość ołowiu „konsumowana" przez elektronikę w ogóle, stała się zasadniczą przyczyną konieczności przejścia przemysłu elektrycznego i elektronicznego na lutowanie bezołowiowe. Tak rozproszony ołów jest bowiem trudny do odzysku i recyklingu, nakazanych przez dyrektywę WEEE.

Pozostające na wysypiskach elektroniczne śmieci z ołowiem podlegają procesom chemicznym utleniania i rozpuszczania. Kwaśny deszcz, będący wynikiem zanieczyszczenia atmosfery, działa na ołów o różnym stopniu utlenienia, czyli na różnego rodzaju tlenki ołowiu. Tlenki ołowiu rozpuszczają się w kwasach, tworząc trujące, rozpuszczalne w wodzie związki ołowiu, które mogą przenikać do gleby, a dalej do wód gruntowych i do naturalnych zasobów wody pitnej, powodując jej zanieczyszczenie, czy wręcz zatrucie.

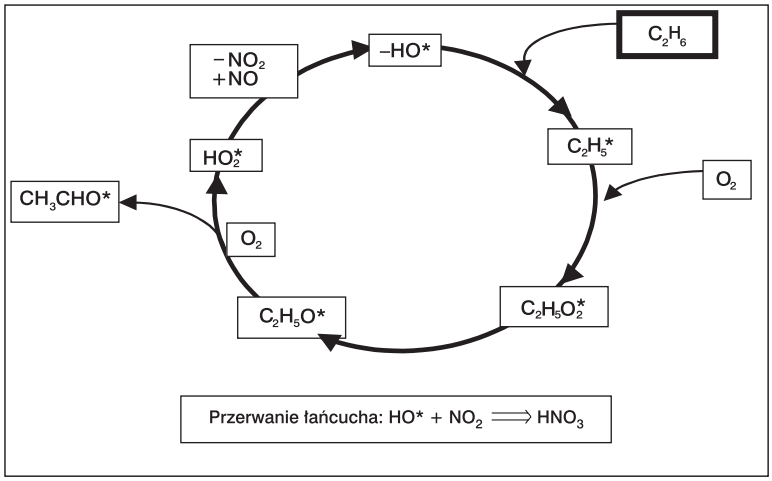
Na **rysunku 1.2** przedstawiono mechanizm przedostawania się ołowiu z wysypisk śmieci do wód gruntowych [10].

Powstawanie kwaśnego deszczu nie jest czymś wyjątkowym ze względu na silne zanieczyszczenie atmosfery różnego rodzaju lotnymi związkami organicznymi. Na **rysunku 1.3** przedstawiono mechanizm tworzenia się kwaśnego deszczu na skutek obecności w atmosferze etanu [8].

Wyżej omówione aspekty przyczyniły się do rewolucji technicznej, jaką jest przejście z technologii cynowo-ołowiowej na bezołowiową technologię montażu w przemyśle elektrycznym i elektronicznym.



Rys. 1.2. Mechanizm przedostawania się ołowiu z wysypisk śmieci do wód gruntowych



Rys. 1.3. Mechanizm powstawania kwaśnego deszczu

1.1. Dyrektywa RoHS

Oszacowano, że każdy mieszkaniec 15 krajów Unii Europejskiej wytwarza ok. 23 kg odpadów elektronicznych i elektrycznych w ciągu roku. Jeśli się zważy, że w Europie mieszka 350 mln ludzi, to rocznie powstaje 8,05 mln ton odpadów, które muszą być zagospodarowane, a na 2012 r. prognozuje się nawet wzrost ilości odpadów do 12 mln ton. Ta gwałtownie zwiększająca się ilość odpadów elektronicznych, składowanych na wysypiskach municypalnych, skłoniła Parlament Europejski i Radę do ogłoszenia dwóch dyrektyw: RoHS (2002/95/WE *on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment*), o ograniczeniu wykorzystywania w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym niektórych substancji mogących negatywnie oddziaływać na środowisko) [7] oraz WEEE (2002/96/WE *on waste electric and electronic equipment*) [11], o odpadach zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Ogólnym celem tych przepisów jest takie projektowanie i wytwarzanie wyrobów, które ułatwi odzysk materiałów i energii po zakończeniu życia wyrobów oraz pozwoli na bezpieczną utylizację pozostałości. Podstawą prawną dyrektywy RoHS jest art. 95 traktatu, a dyrektywy WEEE art. 175 traktatu.

1.1.1. Dokumenty dotyczące dyrektywy RoHS

Dyrektywa została przyjęta przez Parlament Europejski i Radę w dniu 27.01.2003 roku, i ogłoszona w dzienniku unijnym 13.02.2003 roku. Od tej chwili państwa należące do Unii miały 18 miesięcy, tj. do 13 08 2004 roku, na dostosowanie prawa krajowego do prawa unijnego. Okres dostosowawczy wynikał z istnienia różnic w prawie lub środkach administracyjnych państw członkowskich w odniesieniu do wymagań dyrektywy, co mogłyby stworzyć wadliwe funkcjonowanie rynku wewnętrznego Wspólnoty z powodu barier handlowych czy nierównych warunków konkurencji.

Po wejściu Polski do Unii Europejskiej nastąpiło dostosowanie prawa polskiego do unijnego i dyrektywa RoHS została wprowadzona rozporządzeniem ministra gospodarki i pracy z dnia 6 października 2004 r. „w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących ograniczenia wykorzystywania w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym niektórych substancji mogących negatywnie oddziaływać na środowisko" [12].

Oprócz zasadniczego dokumentu: 2002/95/EC Parlamentu Europejskiego i Rady [7], w latach 2005 i 2006 wydano 7 dokumentów uzupełniających [13–19], tj.: ustanowiono maksymalne wartości koncentracji niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym, wyłączono deka-BDE (czyli eter dekabromodifenylowy), ołów z osłon i panwi łożysk wykonanych z brązu i ołowiu, wprowadzono dodatkowe zmiany w załączniku dotyczącym wyłączeń kadmu i ołowiu, ołowiu w szkle kryształowym czy chromu.

Ostatecznym dokumentem obowiązującym w kraju, uwzględniającym wszystkie poprawki i uzupełnienia do dyrektywy RoHS jest rozporządzenie ministra gospodarki z dnia 27 marca 2007 r., które ukazało się w Dzienniku Ustaw Nr 69, poz. 457 [20].

Wszystkie dokumenty związane z dyrektywą RoHS dostępne są na stronie internetowej Ministerstwa Gospodarki *http://www.mg.gov.pl.*

1.1.2. Zasadnicze postulaty zawarte w dyrektywie RoHS

Dyrektywa RoHS stanowi o tym, że w wytwarzanym i wprowadzanym do obrotu sprzęcie elektrycznym i elektronicznym, w tym w żarówkach i oprawach oświetleniowych przeznaczonych do użytku w gospodarstwach domowych, nie mogą być wykorzystywane:

ołów, **rtęć**, **kadm**, **sześciowartościowy chrom**, **polibromowane bifenyle** (**PBB**); **polibromowane etery difenylowe** (**PBDE**).

Dyrektywa dotyczy sprzętu elektrycznego i elektronicznego, tj. produktów, których prawidłowe działanie jest uzależnione od dopływu prądu elektrycznego lub od obecności pól elektromagnetycznych, oraz produktów służących do wytwarzania, przesyłania i pomiaru prądu elektrycznego lub pól elektromagnetycznych i zaprojektowanych do użytku przy napięciu elektrycznym nieprzekraczającym 1000 V dla prądu zmiennego oraz 1500 V dla prądu stałego, zaliczonych do 8 grup sprzętu elektrycznego i elektronicznego, wymienionych w załączniku do rozporządzenia ministra gospodarki. Załącznik ten ma umożliwić przedsiębiorcom właściwe zaklasyfikowanie wyrobów wprowadzanych przez nich do obrotu.

1. Wielkogabarytowe urządzenia gospodarstwa domowego.
2. Małogabarytowe urządzenia gospodarstwa domowego.
3. Urządzenia IT i telekomunikacyjne.
4. Urządzenia konsumenckie.
5. Urządzenia oświetleniowe.
6. Narzędzia elektryczne i elektroniczne, z wyjątkiem wielkogabarytowych, stacjonarnych narzędzi przemysłowych.
7. Zabawki, sprzęt rekreacyjny i sportowy.
8. Automaty.

W każdej z tych grup szczegółowo jest wymieniony sprzęt podlegający rozporządzeniu i tak np.: w grupie sprzętu teleinformacyjnego i telekomunikacyjnego znalazły się urządzenia, takie jak płyty główne, minikomputery, jednostki drukujące oraz komputery osobiste, a w tym komputery stacjonarne i laptopy, łącznie z procesorem, myszą, monitorem i klawiaturą, drukarki, kalkulatory, faksy, telefony, telefony komórkowe itp.

Dyrektywą objęte są również żarówki i oprawy oświetleniowe używane w gospodarstwach domowych.

Ponieważ z technicznego punktu widzenia spełnienie w całej rozciągłości postulatu całkowitego braku obecności substancji niebezpiecznych objętych dyrektywą byłoby wręcz niemożliwe, dopuszczono zatem możliwość ich występowania w materiałach jednorodnych, w ilościach określonych jako „maksymalna wartość koncentracji", która wynosi po 0,1% wagowych dla ołowiu, rtęci, sześciowartościowego chromu, polibromowanych bifenyli (PBB) i polibromowanych eterów difenylowych (PBDE) oraz 0,01% wagowych dla kadmu.

W uzupełnieniu do dyrektywy nie podano jednak definicji materiału jednorodnego. Znalazła się ona w wydanym przez KE przewodniku pt. „Najczęściej zadawane pytania o dyrektywach RoHS i WEEE" [21]. Według tego przewodnika za „materiał jednorodny" uważa się taki materiał, który nie może być rozdzielony mechanicznie na inne materiały np. przez rozkręcenie, rozcięcie, rozkruszenie, ścieranie itp. Przykładami takich materiałów jednorodnych są: plastik, ceramika, szkło, metal, stop, papier, powłoka metaliczna. Za niejednorodne materiały uważane są np. kable, podzespoły w obudowach czy płytki drukowane, ponieważ składają się z wielu materiałów jednorodnych.

W przewodniku znalazło się również doprecyzowanie niektórych sformułowań zawartych w dyrektywie, które pozwalają lepiej ją rozumieć.

Wydawałoby się, że określenie kryteriów dla sprzętu uznanego za objęty dyrektywą: tj. „sprzętu, którego prawidłowe działanie jest zależne od dopływu prądu elektrycznego lub od obecności pól elektromagnetycznych oraz generującego, przesyłającego i mierzącego takie prądy i pola", jest wystarczająco jasne, jednak w przewodniku uściślono, że słowo „zależne" oznacza, iż energia elektryczna, a nie inna, jest podstawą działania takiego sprzętu. W związku z tym zapłon piezoelektryczny, kosiarka do trawy z napędem benzynowym, narzędzia pneumatyczne, kuchenka gazowa z zegarem elektrycznym czy zabawka pluszowa z baterią i kartridż atramentowy nie są produktami objętymi dyrektywą.

Ponieważ dyrektywa dotyczy również części zamiennych, podano definicję tych części, według której są to „produkty stosowane w celu naprawy lub powtórnego użycia w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym".

Wiele wątpliwości budziło znaczenie takich określeń, jak producent, wprowadzający sprzęt, czy wytwarzany i wprowadzany do obrotu sprzęt EE. Dalej podano, za przewodnikiem, znaczenie tych określeń według Komisji Europejskiej.

„Producent" – jest pojęciem bardzo szerokim. Producentem danego wyrobu może być faktyczny jego wytwórca, importer, dystrybutor oraz każda inna osoba, która wprowadza wyrób do obrotu na terenie Unii Europejskiej pod własną marką.

Taka osoba również może ustanowić upoważnionego przedstawiciela, który będzie wprowadzał dany wyrób do obrotu na rynek UE. W przypadku, gdy przedstawiciel będzie wprowadzał wyrób pod własną marką, będzie on uważany za producenta tego wyrobu, a nie upoważnionego przedstawiciela producenta i będzie ponosił taką samą odpowiedzialność jak producent.

„Wprowadzający sprzęt" – rozumie się przez to przedsiębiorcę, który na terytorium kraju, bez względu na wykorzystywaną technikę sprzedaży, sprzedaje wyprodukowany sprzęt elektryczny i elektroniczny pod własnym oznaczeniem lub sprzedaje pod własnym oznaczeniem sprzęt elektryczny i elektroniczny wyprodukowany przez innego przedsiębiorcę, chyba że na sprzęcie tym widnieje oznaczenie faktycznego producenta sprzętu, lub prowadzi działalność związaną z importem lub wewnątrzwspólnotowym nabyciem sprzętu elektrycznego lub elektronicznego.

Wiele kontrowersji wywoływało określenie „wprowadzenie do obrotu". Pod określeniem „w sprzęcie wytwarzanym i wprowadzonym do obrotu" należy rozumieć – udostępnienie przez producenta, jego upoważnionego przedstawiciela lub importera, nieodpłatnie albo za odpłatą wyrobu w celu jego używania lub dystrybucji, po raz pierwszy na terytorium państw członkowskich Unii Europejskiej lub państw członkowskich Europejskiego Porozumienia o Wolnym Handlu (EFTA) – stron umowy o Europejskim Obszarze Gospodarczym.

1.1.3. Wyłączenia z dyrektywy RoHS

Spod restrykcji dyrektywy **wyłączone są części zamienne dla sprzętu elektrycznego i elektronicznego wprowadzonego do obrotu przed 1 lipca 2006 r.** To również nie jest dla wszystkich jasne, ponieważ w przewodniku znajduje się pytanie, czy dyrektywa RoHS dotyczy części zamiennych instalowanych w nowym sprzęcie? Odpowiedź jest jednoznaczna, ten wyjątek w dyrektywie odnosi się jedynie do starego sprzętu, tj. takiego, który został umieszczony na rynku przed 1 lipca 2006. Ma to na celu umożliwienie konserwacji starego sprzętu.

Po licznych konsultacjach od 1 lipca 2006 roku wyłączone są (czyli dopuszczone do stosowania) substancje niebezpieczne w następujących zastosowaniach:

Ołów i jego związki:

- Ołów w szkle katodowych lamp elektronowych, w elektronicznych komponentach i lampach fluorescencyjnych.
- Ołów jako pierwiastek stopowy w stali zawierającej do 0,35% wagowych ołowiu, w aluminium zawierającym do 0,4% wagowych ołowiu oraz jako stop miedzi zawierający do 4% wagowych ołowiu.
- Ołów w stopach lutowniczych charakteryzujących się wysokimi temperaturami topnienia (tj. stopów na bazie ołowiu zawierających co najmniej 85% wagowych ołowiu).
- Ołów w stopach lutowniczych przeznaczonych do serwerów, pamięci i systemów układu pamięci, infrastruktury sieci urządzeń przełączających, sygnalizujących, transmitujących oraz sieci zarządzania telekomunikacją.
- Ołów w elektronicznych częściach ceramicznych.
- Ołów w ołowiano-brązowych osłonach i panwiach łożysk.

- Ołów w złączach stykowych.
- Ołów jako materiał powlekający w pierścieniach typu „c” modułów termoprzewodzących.
- Ołów w szkle optycznym i filtrach szklanych.
- Ołów w farbach drukarskich będących składnikiem emalii nakładanej na szkło borokrzemianowe.
- Ołów w szkle kryształowym wymienionym w tabeli w załączniku nr 1 do rozporządzenia ministra gospodarki z dnia 4 sierpnia 2006 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla wyrobów ze szkła kryształowego (Dz.U. Nr 148, poz. 1070).
- Ołów jako zanieczyszczenie w rotatorach Faradaya, zawierających ferrogranat ziem rzadkich (RIG), stosowanych w systemach transmisji za pomocą włókien światłowodowych.
- Ołów w pokryciach wyprowadzeń podzespołów elektronicznych z małym rastrem, z ażurem NiFe, innych niż złącza z rastrem 0,65 mm lub mniejszym oraz w pokryciach wyprowadzeń podzespołów elektronicznych z małym rastrem, z ażurem miedzianym, innych niż złącza z rastrem 0,65 mm lub mniejszym.
- Ołów w stopach lutowniczych do lutowania w zmechanizowanym montażu przewlekanym dyskowych i planarnych matryc wielowarstwowych kondensatorów ceramicznych.
- Ołów w stopach lutowniczych składających się z co najmniej dwóch elementów w połączeniach między stykami i zespołami mikroprocesorów, o zawartości ołowiu nie mniejszej niż 80% i nie większej niż 85% wagowych.
- Ołów w stopach lutowniczych potrzebny do zakończenia trwałego połączenia elektronicznego między przyrządem półprzewodnikowym a nośnikiem w ramach obwodu scalonego określanego jako *flip-chip*.
- Ołów w liniowych lampach żarowych z rurką pokrytą krzemianem.
- Ołów jako aktywator w proszku fluorescencyjnym w ilości nie większej niż 1% wagowych ołowiu w:
  - lampach wyładowczych używanych do opalania, zawierających luminofory oznaczone symbolem „BSP” ($BaSi_2O_5$:Pb);
  - lampach wyładowczych używanych jako lampy specjalistyczne w reprografii z wykorzystaniem diazotypii lub litografii;
  - pułapkach na owady;
  - w procesach fotochemicznych i obróbce chemicznej, zawierających luminofory oznaczone symbolem „SMS” $(Sr,Ba)_2MgSi_2O_7$:Pb).
- Ołów w kompaktowych lampach energooszczędnych:
  - w kompozycji ze związkami PbBiSn-Hg i PbInSn-Hg stanowiącej główny amalgamat;
  - w kompozycji ze związkiem PbSn-Hg stanowiącej dodatkowy amalgamat.
- Halogenek ołowiu jako czynnik promieniujący stosowany w wysoko wydajnych lampach wyładowczych używanych do celów profesjonalnej reprografii.
- Tlenek ołowiu:
  a) stosowany w szkle łączącym przednie i tylne substraty płaskich lamp fluorescencyjnych używanych w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych;

b) w panelach wyświetlaczy plazmowych (PDP) i wyświetlaczach (SED) użyty w elementach konstrukcyjnych, szczególnie w warstwie dielektrycznej przedniego i tylnego panelu szklanego, elektrodzie szyny zbiorczej, czarnym pasku, elektrodzie adresującej, ożebrowaniu oddzielającym, w szkliwie uszczelniającym i w uszczelce ze szkliwa oraz w pastach do nadruku;

c) w szklanej obudowie rtęciowych lamp wyładowczych typu *Black Light Blue* (BLB).

- Stopy ołowiu jako luty w przetwornikach stosowanych w głośnikach wysokiej mocy, przeznaczonych do wielogodzinnej pracy na poziomach mocy akustycznej co najmniej 125 dB SPL.

Rtęć:

- Rtęć w kompaktowych lampach fluorescencyjnych w ilości nieprzekraczającej 5 mg na lampę.
- Rtęć w prostych lampach fluorescencyjnych ogólnego zastosowania w ilościach nieprzekraczających na jedną lampę:
  - z luminoforem halofosforanowym – 10 mg;
  - z luminoforem trójpasmowym o normalnym okresie żywotności – 5 mg;
  - z luminoforem trójpasmowym o wydłużonym okresie żywotności – 8 mg.
- Rtęć w prostych lampach fluorescencyjnych wykorzystywanych do celów specjalnych.

Kadm i jego związki:

- W stykach elektrycznych.
- W szkle optycznym i filtrach szklanych.
- Jako materiał do kadmowania, z wyjątkiem zastosowań określonych w § 11–13 oraz §13a rozporządzenia ministra gospodarki i pracy z dnia 5 lipca 2004 r. w sprawie ograniczeń, zakazów lub warunków produkcji, obrotu lub stosowania substancji niebezpiecznych i preparatów niebezpiecznych oraz zawierających je produktów (Dz.U. Nr 168, poz. 1762, z późn. zm. w Dz. U. z 2005 r. Nr 39, poz. 372 oraz z 2006 r. Nr 127, poz. 887 i Nr 239, poz. 1731 oraz z 2007 r. Nr 1, poz. 1).
- W farbach drukarskich będących składnikiem emalii na szkło borokrzemianowe.

Sześciowartościowy chrom:

- Jako środek antykorozyjny stosowany w stali węglowej systemów chłodzących używanych w chłodziarkach absorpcyjnych.
- W powłokach niepomalowanych metalowych przesłon i łączników stosowanych jako ochrona przeciwkorozyjna i jako ekranowanie zabezpieczające przed interferencją elektromagnetyczną w sprzęcie należącym do grupy 3. określonej w załączniku do rozporządzenia (urządzenia IT i telekomunikacyjne), jednak nie dłużej niż do dnia 1 lipca 2007 r.

PBB i PBDE:

- Substancja deka-BDE powstrzymująca przez określony czas rozprzestrzenianie się ognia, w zastosowaniu do polimerów.

Substancja oznaczona symbolem deka-BDE znalazła szerokie zastosowanie w odbiornikach telewizyjnych, w komputerach i wielu innych wyrobach elektronicznych. W postaci handlowej występuje ona z 35% domieszką nona-BDE, który jest objęty dyrektywą

RoHS. Dodatek deca-BDE w tworzywach jest na poziomie 10, a nawet 20%. Zachodzi obawa, że w wyrobach elektrycznych i elektronicznych, które zawierają deka-BDE, może występować przekroczenie granicznej zawartości nona-BDE, czyli 0,1% w materiale jednorodnym, zatem ilość deka-BDE w wyrobie musi być ściśle kontrolowana.

Chociaż udowodniono, że ołów jest szczególnie niebezpieczny dla zdrowia i życia człowieka, jednak najwięcej wyłączeń z dyrektywy dotyczy ołowiu. Stało się tak na skutek ogromnych problemów technicznych związanych z wyłączeniem ołowiu z praktyki produkcyjnej, a szczególnie stopów zawierających ołów do lutowania bardziej odpowiedzialnych wyrobów elektronicznych, jak sprzętu kosmicznego, wojskowego czy telekomunikacyjnego. W tych przypadkach nie znaleziono odpowiedników z wystarczająco udokumentowanymi wynikami badań niezawodności. W te wyłączenia wpisują się również dwie inne grupy sprzętu elektronicznego, tj. grupa 8 i 9 załącznika do dyrektywy WEEE:

8. Wyroby medyczne (z wyjątkiem wszystkich produktów wszczepionych i skażonych), tj.:
   - urządzenia do radioterapii;
   - urządzenia kardiologiczne;
   - urządzenia do dializ;
   - urządzenia do wentylacji płuc;
   - medycyna nuklearna;
   - sprzęt laboratoryjny do dializowania in vitro;
   - analizatory;
   - zamrażarki;
   - testy płodności;
   - pozostałe urządzenia do wykrywania, zapobiegania, nadzorowania, leczenia, łagodzenia choroby, urazów lub niepełnosprawności.
9. Przyrządy do nadzoru i kontroli, w tym:
   - czujniki dymu;
   - regulatory ciepła;
   - termostaty;
   - urządzenia pomiarowe, ważące lub do nastawy, używane w gospodarstwie domowym lub jako sprzęt laboratoryjny;
   - pozostałe przyrządy nadzoru i kontroli, używane w obiektach przemysłowych, np. w panelach sterowniczych.

Aktualnie trwają prace komisji TAC (*Technical Adaptation Commission*) nad włączeniem obu tych grup do dyrektywy RoHS. Przewiduje się, że prace zostaną zakończone do roku 2008, jednak ostateczne włączenie obu grup do dyrektywy powinno nastąpić dopiero za 4 lata, a więc w roku 2010.

Co cztery lata komisja będzie dokonywała przeglądu każdego wyłączonego załącznikiem sprzętu, w celu włączenia ich pod restrykcje dyrektywy, ale pod warunkiem że będzie unikane stosowanie substancji niebezpiecznych wymienionych już w dyrektywie, że będzie możliwe wykonanie wyżej wymienionego sprzętu z technicznego i naukowego punktu widzenia, wreszcie, że zmiana nie będzie negatywnie oddziaływać zarówno na środowisko, jak i na zdrowie konsumenta. Przed dokonaniem zmian w za-

łączniku do dyrektywy, komisja zasięgnie opinii producentów sprzętu elektrycznego i elektronicznego, podmiotów zajmujących się recyklingiem, przetwarzaniem odpadów, a także organizacji środowiskowych oraz stowarzyszeń pracowniczych i konsumenckich. Najbliższych zmian dyrektywy RoHS należy spodziewać się w roku 2010.

1.1.4. Zgodność z dyrektywą RoHS

Dyrektywa RoHS pozostawia otwartą sprawę oceny i badania na zgodność ze swoimi wymaganiami. Nie wypowiada się, na czym ma polegać „bycie zgodnym" z dyrektywą ani kto tę zgodność będzie sprawdzał. Jednak, choć późno, zaczęła się organizować Europejska Sieć Nadzoru Rynku nad dotrzymywaniem wymagań dyrektywy w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym wprowadzanym na rynek po 1 lipca 2006 r. Będzie się ona składała z narodowych organizacji nadzoru rynku, odpowiedzialnych za przestrzeganie dyrektywy RoHS. Nie ma jeszcze decyzji, która z polskich organizacji będzie wchodziła w tworzącą się europejską sieć nadzoru rynku. Każda narodowa organizacja nadzoru rynku będzie musiała określić sposób, w jaki będzie przeprowadzała nadzór, czy na chybił trafił, czy wg jakiegoś określonego systemu.

Sprawdzanie na zgodność z dyrektywą będzie w pierwszym rzędzie polegało na kontroli deklaracji materiałowych przygotowanych przez producentów sprzętu (również importerów), w których zostanie określone, czy i w jakim zakresie występują lub nie występują regulowane dyrektywą substancje w dostarczanych na rynek wyrobach. Deklaracja materiałowa ma powiązać dostawców i producentów w jeden łańcuch. Jednak ostatecznie odpowiedzialny za wyrób jest producent. W Europie tworzy się w tej chwili wzory dokumentów i sposoby przepływu informacji. Będą one prawdopodobnie przekazywane przez nadzór rynku albo na drodze normalizacyjnej.

W sprawie zgodności z dyrektywą RoHS większą inicjatywą wykazują się Japończycy i Amerykanie niż członkowie Wspólnoty Europejskiej. IPC, jako wynik prac konsorcjum iNEMI (USA), ogłosił normę IPC-1752 [22] dotyczącą deklaracji materiałowej, która proponuje jeden wzór deklaracji materiałowej w formie elektronicznej, łatwej do przesyłania oraz wymiany informacji o materiałach zawartych w wyrobach elektrycznych i elektronicznych. Umożliwi ona zwiększenie sprawności oraz obniżkę kosztów przygotowania takiej deklaracji. Norma zawiera dwa, służące do wprowadzania danych kwestionariusze IPC-1752-1 i IPC-1752-2, które są oparte na formacie PDF firmy Adobe [23, 24]. Wprowadzone dane mogą być z nich pobierane i zamieniane na standardowy, czytelny przez komputer format (XML). Kwestionariusze mogą być następnie wymieniane między zainteresowanymi w sposób elektroniczny zarówno drogą e-mailową, przez interfejsy www, jak również za pomocą bardziej zaawansowanych i bezpiecznych sposobów stosowanych w rozwiązaniach biznesowych.

Oprócz tego wyszły jeszcze dwie normy z serii IPC-175X, tj. IPC-1751, dotycząca wymagań ogólnych związanych z zarządzaniem procesami zbierania danych do deklaracji materiałowej [25], IPC-1752-3, będąca przewodnikiem do przygotowania deklaracji materiałowej [26] oraz dodatkowo normy dotyczące zarządzania deklaracjami materiałowymi dotyczącymi laminatów – IPC-1753 [27], płytek drukowanych – IPC-1754 [28] i zespołów elektrycznych – IPC-1755 [29].

W normie IPC-1752 przedstawiono klasyfikację typów deklaracji, obejmującą sześć klas (**tabela 1.3**).

Tab. 1.3. Klasyfikacja deklaracji materiałowych

Klasa	Opis	Typ formularza	Typ deklaracji	Szczegółowe wymagania
1	– Raport o substancjach RoHS w materiale jednorodnym w formie tak/nie	IPC-1752-1 IPC-1752-2	Klasa 1 – Informacja „tak/nie" o substancjach RoHS	– Dostawca stwierdza, czy materiał jednorodny spełnia wymagania RoHS lub podlega wyłączeniom
2	– Raport o substancjach RoHS w materiale jednorodnym w formie tak/nie – Raport o procesie wytwarzania	IPC-1752-1 IPC-1752-2	Klasa 2 – Informacja „tak/nie" o substancjach RoHS, informacja o procesie wytwarzania	– Dostawca stwierdza, czy materiał jednorodny spełnia wymagania RoHS i wyjątki – Dostarczana jest również informacja o procesie wytwarzania
3	– Raport o substancjach RoHS w materiale jednorodnym w formie tak/nie – Informacja o substancjach RoHS z podaniem poziomu zawartości w materiale jednorodnym – Informacja o innych substancjach z poziomu A i B JIG (Joint Industry Guide) oraz poziomie ich zawartości	IPC-1752-1	Klasa 3 – Informacja „tak/nie" o substancjach RoHS oraz o substancjach JIG	– Dostawca stwierdza, czy materiał jednorodny spełnia wymagania RoHS i wyjątki – Dostawca dostarcza informacji o miejscu występowania, masie i/lub stężeniu substancji RoHS w materiale jednorodnym i innych substancji z poziomu A i B JIG, jeśli przekraczają próg wymagań określony w JIG – Dodatkowo mogą być umieszczone informacje o występowaniu innych substancji i ich poziomie zawartości
4	– Raport o substancjach RoHS w materiale jednorodnym w formie tak/nie – Informacja o substancjach RoHS z podaniem poziomu zawartości w materiale jednorodnym – Informacja o innych substancjach z poziomu A i B JIG oraz poziomie ich zawartości – Raport o procesie wytwarzania	IPC-1752-1	Klasa 4 – Informacje „tak/nie" o substancjach RoHS, o substancjach JIG oraz o procesie wytwarzania	– Dostawca stwierdza, czy materiał jednorodny spełnia wymagania RoHS i wyjątki – Dostawca dostarcza informacji o miejscu występowania, masie i/lub stężeniu substancji RoHS w materiale jednorodnym i innych substancji z poziomu A i B JIG, jeśli przekraczają próg wymagań określony w JIG – Dodatkowo mogą być umieszczone informacje o występowaniu innych substancji i ich poziomie zawartości – Dostarczana jest również informacja o procesie wytwarzania
5	– Raport o substancjach RoHS w materiale jednorodnym w formie tak/nie – Raport o poziomie substancji w materiale jednorodnym – Raport o substancjach z poziomu A i B JIG i innych zawartych substancjach	IPC-1752-2	Klasa 5 – Informacje o substancjach RoHS, JIG i o innych substancjach	– Dostawca stwierdza, czy materiał jednorodny spełnia wymagania RoHS i wyjątki – Dostawca dostarcza informacji o miejscu występowania, masie i/lub stężeniu substancji RoHS w materiale jednorodnym i innych substancji z poziomu A i B JIG, jeśli przekraczają próg wymagań określony w JIG
6	– Raport o substancjach RoHS w materiale jednorodnym w formie tak/nie – Raport o poziomie substancji w materiale jednorodnym – Raport o substancjach z poziomu A i B JIG oraz o innych zawartych substancjach – Raport o procesie wytwarzania	IPC-1752-2	Klasa 6 – Informacje o substancjach RoHS, JIG i innych substancjach oraz o procesie wytwarzania	– Dostawca stwierdza, czy materiał jednorodny spełnia wymagania RoHS i wyjątki – Dostawca dostarcza informacji o miejsce występowania, masie i/lub stężeniu substancji RoHS w materiale jednorodnym i innych substancji z poziomu A i B JIG, jeśli przekraczają próg wymagań określony w JIG – Dostarczana jest również informacja o procesie wytwarzania

IPC ogłosiło swoje normy na stronie internetowej *http://www.ipc.org*, skąd można je pobrać wolne od opłaty. Normy dotyczące deklaracji materiałowych są na bieżąco aktualizowane o zatwierdzane przez Komisję Europejską wyłączenia i w aktualnej formie dostępne na stronie internetowej. IPC proponuje Europejskiemu Komitetowi Normalizacyjnemu (CEN) przyjęcie swoich rozwiązań i ogłoszenie ich w Europie jako normy IEC.

Inicjatywę w zakresie deklaracji materiałowych podjęła grupa robocza złożona z reprezentantów organizacji producenckich EICTA (EU), EIA (USA) i JGPSSI (Japonia), która przygotowała propozycję przewodnika ustalającego dwie kategorie materiałów i substancji do deklaracji. Lista materiałów i substancji, określonych przez przemysł, zawiera kryteria do wykazania na poziomie A i B, dotyczące materiałów lub substancji, które są obecne w produkcie lub jego części. Na razie jest to dyskutowana propozycja, ponadto przewodnik nie ma charakteru dokumentu obligatoryjnego.

1.1.5. Badanie na zgodność z dyrektywą RoHS

Nie zawsze samo dostarczenie deklaracji materiałowej przez dostawcę materiałów czy podzespołów będzie wystarczające dla producenta sprzętu, który aby się upewnić, będzie musiał przeprowadzić badanie na zgodność z dyrektywą niepewnego fragmentu swojego wyrobu. Badanie wyrobu może być również zlecone przez nadzór rynku nawet przed sprawdzeniem deklaracji materiałowej. Producent ponadto powinien mieć pewność, że badanie zostanie wykonane właściwie, a otrzymane wyniki są pewne. Dlatego istotne jest, aby laboratorium badawcze stosowało standardowe i sprawdzalne metody badań, jak również korzystało z wzorców Instytutu Wzorców Materiałów i Pomiarów Komisji Europejskiej.

Tak jak niezbędne dla producentów wyrobów wzory deklaracji materiałowych powstały na drodze normalizacyjnej, tak samo regulacje dotyczące metod badań na zgodność z dyrektywą powstają na tej samej drodze. Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN), którego członkiem jest również Polska, przygotowuje normę IEC 62231 dotyczącą procedur, jakich należy przestrzegać do określania poziomu regulowanych dyrektywą sześciu niebezpiecznych substancji w wyrobach elektrotechnicznych [30]. Prace dotyczące wydania tej normy zakończono w październiku 2006 r.

Rys. 1.4. Przykład fluorescencyjnego spektrometru rentgenowskiego z dyspersją energii ED-XRF

Procesy i wyroby, w których należy spodziewać się występowania sześciu substancji niebezpiecznych, przedstawiono w **tabeli 1.4**.

Typowy wyrób elektroniczny składa się z setek pojedynczych elementów, takich jak układy scalone, podzespoły dyskretne (rezystory, kondensatory, diody), kable, płytki drukowane, złącza, czujniki itp. Każdy z elementów stanowi unikalną mieszankę materiałów. Dlatego też uzyskanie reprezentatywnej próbki do badań jest kluczowym problemem badawczym.

Tab. 1.4. Szkodliwość i występowanie substancji niebezpiecznych RoHS

Substancja	Szkodliwość	Zastosowanie w elektronice
Ołów	R 20/22: szkodliwy przez wdychanie i spożycie R 33: niebezpieczny ze względu na efekt kumulacji R 61: może szkodzić nienarodzonemu dziecku R 62: możliwe ryzyko osłabionej płodności Toksyczny dla reprodukcji, kat.1 dyrektywy Rady 67/548/EEC (Annex 6)	Główne zastosowanie ołowiu w elektronice to: lutowanie zespołów na płytkach drukowanych, szkło katodowych lamp elektronowych, lutowanie i szkło żarówek i lamp fluorescencyjnych
Kadm	R 20/21/22: szkodliwy przez wdychanie, połknięcie lub kontakt ze skórą (większość związków kadmu) R 23/25: trujący przez wdychanie i spożycie (niektóre związki kadmu) R 33: niebezpieczny ze względu na efekt kumulacji (niektóre związki kadmu) R 40: możliwe ryzyko efektów nieodwracalnych (niektóre związki kadmu) R 45: może powodować zachorowanie na raka (chlorek kadmu) R 49: może wywoływać raka przez wdychanie	Kadm występuje w płytkach drukowanych, w niektórych podzespołach, np.: rezystory do montażu powierzchniowego, w promiennikach podczerwieni i półprzewodnikach. Stare typy katodowych lamp elektronowych również zawierają kadm. Ponadto kadm jest używany jako stabilizator PCV
Rtęć	Związki rtęci: R 23/24/25: trujące przez wdychanie, kontakt ze skórą i spożycie R 33 niebezpieczne ze względu na efekt kumulacji Alkilowe i nieorganiczne związki rtęci: R 26/27/28: bardzo trujące przez wdychanie, kontakt ze skórą lub spożycie R 33 niebezpieczne ze względu na efekt kumulacji	22% światowego zużycia rtęci przypada na elektronikę. Rtęć jest stosowana przede wszystkim w termostatach, czujnikach, przekaźnikach i przełącznikach, np. na płytkach obwodów drukowanych, w sprzęcie pomiarowym i w lampach wyładowczych. Oprócz tego używana jest w urządzeniach medycznych, do przesyłania danych, telekomunikacyjnych i w telefonach komórkowych
Chrom VI	Rakotwórczy, kat. 2 dyr. Rady 67/548/EEC (An 6) R 49: może powodować zachorowanie na raka przez wdychanie R 43: może powodować uczulenia w zetknięciu ze skórą R 50/53: bardzo trujący dla organizmów wodnych, może powodować długoterminowe niekorzystne efekty w środowisku wodnym	Dodatki antykorozyjne do metali
Polibromowane związki zmniejszające palność	Zarówno polibromowane bifenyle (PBB), jak i polibromowane etery difenylowe (PBDE) nie są sklasyfikowane przez dyrektywę 67/548/EEC. Związki te są trujące ze względu na trwałość, bioakumulację i zatruwanie środowiska wodnego. Sukcesywny rozkład z uwolnieniem bromu może występować pod wpływem światła słonecznego.	Bromowane środki zmniejszające palność tworzyw sztucznych są przeznaczone do stosowania w produktach elektronicznych w celu zabezpieczenia ich przed paleniem. W elektronice stosuje się głównie polibromowane bifenyle (PBB) i polibromowane etery difenylowe (PBDE) w płytkach drukowanych, w połączeniach lutowanych, w obudowach plastikowych i kablach. 78% wszystkich środków zmniejszających palność tworzyw sztucznych znajdowanych w odpadach pochodzi z odpadów elektronicznych

Pierwszym etapem badań jest zastosowanie metody nieniszczącej, tzw. przesiewowej przy użyciu fluorescencyjnego spektrometru rentgenowskiego z dyspersją energii ED-XRF (**rysunek 1.4**). W metodzie fluorescencji rentgenowskiej na skutek oddziaływania na próbkę promieniowania rentgenowskiego jest emitowane wtórne fluorescencyjne promieniowanie. Każdy pierwiastek, który jest obecny w próbce, wytwarza fluorescencyjne promieniowanie o różnej energii, która jest rejestrowana w postaci charakterystycznego widma. Jednym z ograniczeń tej techniki jest głębokość penetracji próbki przez promieniowanie, zależne od natury analizowanego materiału.

Metoda przesiewowa, ze względu na swoje ograniczenia analityczne, może być używana tylko do zgrubnego określenia, czy substancja niebezpieczna znajduje się zdecydowanie poniżej lub powyżej dopuszczalnego poziomu, czy też jest obecna na poziomie granicznym, niedającym gwarancji spełniania wymagań dyrektywy. Dlatego istotne jest właściwe podejście do tzw. próbkowania wyrobu, czyli odpowiedniego przygotowania próbki do badania, szczególnie w przypadku wyniku będącego na granicy wymagania dyrektywy.

Norma proponuje ocenę próbek na trzech poziomach:

- bez demontażu;
- po prostym demontażu;
- po całkowitym demontażu.

Ocena próbki bez demontażu na obecność sześciu niebezpiecznych substancji ogranicza się do metody przesiewowej W większości przypadków tylko zewnętrzne części wyrobu, jak kable, śruby lub złącza, stanowią próbkę, która może być oceniana bez demontażu. W normie zawarte są informacje, gdzie i jakich substancji niebezpiecznych można się spodziewać w zewnętrznych częściach wyrobów elektronicznych. Zaletą tej metody jest relatywnie szybka i prosta ocena, zwłaszcza że wiele, od lat używanych, substancji niebezpiecznych znajduje się właśnie w tych częściach, np. kadm i ołów w PCV (jako stabilizatory lub barwniki), sześciowartościowy chrom w powłokach ochronnych stosowanych na części metalowe czy ołów w pokryciach pól i otworów płytek drukowanych (tabela 1.4). Niedogodnością tej metody jest niemożność badania wewnętrznych części.

Przygotowanie próbki przez prosty demontaż wyrobu polega na oddzieleniu obudowy od jego wnętrza, którym zwykle są zespoły elektroniczne. Obudowy wykonane są na ogół z tworzywa i jeśli nie są pokryte warstwami zabezpieczającymi lub ozdobnymi, stanowią materiał jednorodny, łatwy do oceny. Trudniej jest z zespołami na płytkach drukowanych, które muszą być zdemontowane, aby oddzielić poszczególne podzespoły bierne, czynne, baterie, mikrofony, zasilacze itp. od obwodu drukowanego płytki. Metodami stosowanymi do badań próbek po prostym demontażu są oprócz nieniszczącej metody przesiewowej inne, bardziej skomplikowane metody analityczne, jak chromatografia cieczowa, spektrometria masowa czy absorpcja atomowa. Zaletą metody po prostym demontażu jest możliwość skupienia się w badaniach tylko na „podejrzanych" elementach, co ogranicza czas i obniża koszty badań. Wadą tej metody jest niepewność, czy rzeczywiście badaniu poddano substancję jednorodną.

W wielu przypadkach będzie jednak niezbędny całkowity demontaż wyrobu, w celu uzyskania jednorodnych próbek do badań i przeprowadzenie setek lub nawet tysięcy prób przy zastosowaniu specjalistycznej, wzorcowanej aparatury do analiz. Dlatego też ten sposób postępowania, choć najbardziej pewny, powinien być ograniczany do minimum i sprowadzony do tych części wyrobu, w których przesiewowo stwierdzono zawartość substancji niebezpiecznych na granicy wymagań dyrektywy. Istotnym problemem jest uzyskanie jednorodnego materiału do badań, ponieważ mechanicznie zdemontowane elementy nadal mogą być niejednorodne. Przykładem może być kondensator, składający się ze zwijki folii tworzywowej, obudowy z tworzywa, metalu wyprowadzeń i pokrycia metalicznego na wyprowadzeniach. Przygotowanie

jednorodnej próbki polega w tym przypadku na zhomogenizowaniu całego podzespołu w odpowiednich urządzeniach do mielenia, w atmosferze azotu.

1.2. Dyrektywa WEEE

Drugą dyrektywą, równolegle wprowadzoną z dyrektywą RoHS 13 lutego 2003 roku przez Parlament Europejski i Radę, jest dyrektywa WEEE (*on waste electrical and electronic equipment*), dotycząca sposobu postępowania z zużytym sprzętem elektrycznym i elektronicznym [11].

Dyrektywa WEEE zobowiązuje kraje członkowskie Unii do zorganizowania systemu zbiórki odpadów wyrobów elektrycznych i elektronicznych, recyklingu i ponownego wykorzystania podzespołów i materiałów przed utylizacją odpadów. Kraje członkowskie, tak jak w przypadku dyrektywy RoHS, miały 18 miesięcy na dostosowanie swojego prawa do prawa unijnego. Ponadto kraje członkowskie były zobowiązane w terminie do 13 sierpnia 2005 roku zorganizować:

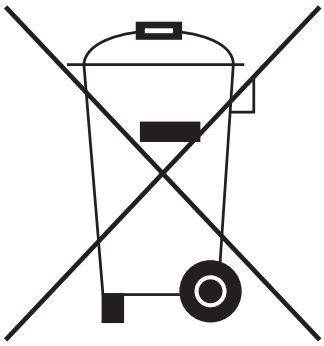
- bezpłatny system zbiórki odpadów elektrycznych i elektronicznych od końcowych posiadaczy i dystrybutorów;
- bezpłatne przyjmowanie zużytych produktów przy sprzedaży nowych wyrobów;
- system indywidualnego i zbiorczego odbioru zużytych produktów przez wytwórców sprzętu;

a do 31 grudnia 2006 r. odbiór co najmniej 4 kg odpadów elektrycznych i elektronicznych w przeliczeniu na jednego mieszkańca.

Polska stała się członkiem Unii 1 maja 2004 roku, w związku z tym otrzymała dodatkowy czas na dopasowanie się do wymagań unijnych. 29 lipca 2005 r. polski parlament przyjął ustawę „O zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym" [31].

Ustawa składa się z 11 rozdziałów, które obejmują:

- **Przepisy ogólne**, zawierające definicje dotyczące zużytego sprzętu, jego odzysku, przetwarzania, recyklingu, unieszkodliwiania odpadów, a także wyjaśniające co to jest zakład przetwarzania oraz kto może zbierać sprzęt.
- **Zadania Inspekcji Ochrony Środowiska**, polegające na prowadzeniu rejestru jednostek wprowadzających sprzęt, zbierających zużyty sprzęt, prowadzących zakłady przetwarzania, prowadzących recykling i inne niż recykling procesy odzysku, organizacji odzysku sprzętu elektrycznego i elektronicznego.
- **Zabezpieczenia finansowe**, jakie muszą być wnoszone przez wprowadzających sprzęt na rynek, aby po eksploatacji sprzętu można było prowadzić ich zbiórkę, recykling, odzysk itp.
- **Obowiązki wprowadzającego sprzęt**. Jedne obowiązki dotyczą wpisywania numeru rejestrowego na fakturach oraz prowadzenia sprawozdawczości na rzecz głównego inspektora ochrony środowiska GIOŚ o ilości i masie wprowadzonego sprzętu na rynek, z podziałem na grupy i rodzaje sprzętu wyszczególnione w ustawie. Dodatkowo w sprawozdaniu muszą się znaleźć informacje o rodzaju i masie baterii i akumulatorów stosowanych w sprzęcie. Inne obowiązki dotyczą prowadzenia szerokiej akcji informacyjnej o zakazie umieszczania zużytego sprzętu EE łącznie z innymi odpadami, konieczności umiesz-



Rys. 1.5. Wzór oznakowania sprzętu elektrycznego i elektronicznego

czenia na pojemnikach na odpady elektryczne i elektroniczne oznakowania, tj. przekreślonego, kołowego kontenera na odpady (**rysunek 1.5**).

Informacje powinny dotyczyć systemu zbierania zużytego sprzętu, potencjalnych skutków dla środowiska i zdrowia, roli, jaką gospodarstwo domowe spełnia w przyczynianiu się do ponownego użycia i odzysku, w tym recyklingu zużytego sprzętu. Najistotniejszą jednak sprawą są wymagane poziomy odzysku, dla zużytego sprzętu powstałego ze sprzętu z poszczególnych grup wymienionych w załączniku do ustawy. Wprowadzający sprzęt jest też zobowiązany do zapewnienia sieci zakładów przetwarzania poprzez podpisywanie stosownych umów z tymi zakładami.

- **Obowiązki użytkownika sprzętu**. Uświadomiony przez wprowadzającego sprzęt użytkownik zobowiązany jest do oddania zużytego sprzętu zbierającemu i do przestrzegania nieumieszczania zużytego sprzętu wraz z innymi odpadami.
- **Obowiązki zbierającego zużyty sprzęt** polegają na selektywnym zbieraniu zużytego sprzętu, przekazywaniu go do zakładu przetwarzania, który jest wpisany do rejestru. Ponadto o swojej działalności musi powiadomić stosowne jednostki terytorialne (wójta, burmistrza, prezydent miastaa) o rozpoczęciu i zakończeniu swojej działalności. Obowiązuje go również sprawozdawczość na rzecz GIOŚ.
- **Obowiązki prowadzącego zakład przetwarzania**. W ustawie zostały sformułowane warunki lokalowe, jakie są wymagane dla prowadzenia zakładu przetwarzania, które mają na względzie bezpieczeństwo ludzi i środowiska. Po przyjęciu zużytego sprzętu prowadzący zakład przetwarzania jest zobowiązany w pierwszym rzędzie do niezwłocznego usunięcia ze zużytego sprzętu niebezpiecznych, określonych ustawą materiałów i składników. Prowadzący zakład przetwarzania ma obowiązek przekazywania powstałych w wyniku przetwarzania odpadów do wpisanych w rejestr zakładów prowadzących recykling lub innego rodzaju odzysk. Również prowadzących zakłady przetwarzania obowiązuje sprawozdawczość na rzecz GIOŚ, w której informuje o sprzęcie przyjętym do przetwarzania i o rodzajach i masie odpadów powstałych z przetworzenia sprzętu.

- **Obowiązki prowadzącego działalność w zakresie recyklingu oraz prowadzącego działalność w zakresie innych niż recykling procesów odzysku** polegają na prowadzeniu tej działalności, wydawaniu zaświadczeń potwierdzających przeprowadzenie recyklingu lub innego niż recykling odzysku oraz na przekazaniu GIOŚ stosownego sprawozdania w określonym terminie.
- **Organizacja odzysku sprzętu elektrycznego i elektronicznego**. Może nią być spółka akcyjna utworzona przez wprowadzających sprzęt lub reprezentujące ich związki pracodawców lub izby gospodarcze. Przedmiotem działalności organizacji odzysku sprzętu elektrycznego i elektronicznego jest wyłącznie działalność związana z organizowaniem, zarządzaniem lub prowadzeniem przedsięwzięć związanych ze zbieraniem, przetwarzaniem, recyklingiem i innymi niż recykling procesami odzysku oraz unieszkodliwianiem zużytego sprzętu, w tym edukacja ekologiczna.

W kraju od lutego 2006 r. działa spółka akcyjna **ElektroEko** – Organizacja Odzysku Sprzętu Elektrycznego i Elektronicznego. Akcjonariuszami tej spółki są: CECED Polska (50%), Philips Lighting, GE, Osram. Informacje o tej organizacji można znaleźć na stronie internetowej *http://www.elektroeko.pl.*

- **Opłata produktowa**. Wprowadzający sprzęt i organizacja odzysku sprzętu elektrycznego i elektronicznego rozliczają się raz do roku z osiągniętych poziomów odzysku i recyklingu przewidzianych dla zużytego sprzętu powstałego w odpowiednich grupach. Jeśli nie zostaną osiągnięte założone poziomy, wówczas te podmioty są obowiązane do wpłacania opłaty produktowej. Podstawą obliczania opłaty produktowej jest liczba kilogramów zużytego sprzętu. Należną opłatę oblicza się jako iloczyn stawki opłaty produktowej i różnicy pomiędzy wymaganym a osiągniętym poziomem odzysku albo recyklingu. Stawkę opłaty produktowej ustalono w ustawie na poziomie: 4–20 zł/kg dla grupy 5 (rodzaje 2–5 sprzętu) oraz 0–2 zł/kg dla pozostałych grup sprzętu. Sprawozdania dotyczące opłat produktowych przekazywane są do GIOŚ.
- **Przepisy karne i kary pieniężne**. Kary grzywny przewidziane są ustawą dla wszystkich podmiotów nieprzestrzegających przepisów ustawy i niewywiązujących się z nałożonych ustawą obowiązków. Dla wprowadzających sprzęt, jak i dla organizacji odzysku działających niezgodnie z ustawą, przewidziana jest grzywna w wysokości 5000–500 000 zł.
- **Zmiany w przepisach obowiązujących**. W tym rozdziale zebrano wszystkie przepisy, które przestały obowiązywać z chwilą wejścia w życie ustawy.
- **Przepisy przejściowe i końcowe**. W tym rozdziale podane są istotne terminy dotyczące rejestracji podmiotów zajmujących się zbieraniem, recyklingiem i odzyskiem, które uruchamiają cały łańcuch podmiotów zajmujących się wdrożeniem przepisów ustawy, a tym samym wdrożeniem dyrektywy WEEE w Polsce, dla której rok 2006 jest początkowym rokiem systematycznego jej wdrażania.

Do ustawy dołączone są dwa załączniki. Załącznik 1 zawiera grupy i rodzaje sprzętu elektrycznego i elektronicznego, podobne do grup sprzętu z rozporządzenia ministra gospodarki wprowadzającego dyrektywę RoHS. Ponieważ jednak nazewnic-

two grup sprzętu w obu dokumentach nieco się różni, dlatego poniżej podano zapis zgodny z ustawą.

1. Wielkogabarytowe urządzenia gospodarstwa domowego.
2. Małogabarytowe urządzenia gospodarstwa domowego.
3. Sprzęt teleinformatyczny i telekomunikacyjny.
4. Sprzęt audiowizualny.
5. Sprzęt oświetleniowy.
6. Narzędzia elektryczne i elektroniczne, z wyjątkiem wielkogabarytowych stacjonarnych narzędzi przemysłowych.
7. Zabawki, sprzęt rekreacyjny i sportowy.
8. Przyrządy medyczne, z wyjątkiem wszystkich wszczepianych i skażonych produktów.
9. Przyrządy do nadzoru i kontroli.
10. Automaty do wydawania.

Załącznik 2 zawiera składniki niebezpieczne, materiały lub części składowe, które powinny być usunięte ze zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Lista substancji obejmuje większą liczbę substancji niebezpiecznych niż dyrektywa RoHS, ponieważ uwzględnia materiały i substancje niebezpieczne wymienione w innych przepisach. W pierwszej kolejności należy usunąć:

1. PCB (rozumie się przez to polichlorowane difenyle, polichlorowane trifenyle, monometylotetrachlorodifenylometan, monometylodichlorodifenylometan, monometylodibromodifenylometan).
2. Części składowe zawierające rtęć, w tym wyłączniki lub podświetlacie.
3. Baterie.
4. Płytki obwodów drukowanych do telefonów komórkowych oraz inne wyroby, jeżeli powierzchnia płytek obwodów drukowanych jest większa niż 10 cm^2.
5. Wkłady drukujące, płynne i proszkowe, a także tonery barwiące.
6. Tworzywa sztuczne zawierające związki bromu zmniejszające palność.
7. Azbest oraz części składowe zawierające azbest.
8. Lampy elektronopromieniowe.
9. Wodorochlorofluorowęglowodory (HCFC), chlorofluorowęglowodory (CFC), wodorofluorowęglowodory (HFC) lub węglowodory (HC).
10. Gazowe lampy wyładowcze.
11. Wyświetlacze ciekłokrystaliczne wraz z obudową, jeżeli ją zawierają, o powierzchni większej niż 100 cm^2 oraz wszystkie tego typu podświetlacie z gazowymi lampami wyładowczymi.
12. Zewnętrzne okablowanie elektryczne.
13. Części składowe zawierające ogniotrwałe włókna ceramiczne.
14. Części składowe zawierające substancje promieniotwórcze z pewnymi odstępstwami określonymi w ustawie o prawie atomowym.
15. Kondensatory elektrolityczne o wymiarach większych niż 25 mm (wysokość i średnica).

Przy przetwarzaniu zebranego zużytego sprzętu, z którego usunięto już substancje niebezpieczne, należy przede wszystkim usunąć gazy, które zubożają warstwę ozonową Ziemi lub przyczyniają się do globalnego efektu cieplarnianego.

Zarówno dyrektywa WEEE w języku angielskim, jak i ustawa o odpadach dostępne są na stronach Ministerstwa Gospodarki *http://www.mg.gov.pl.*

1.3. Kierunki zmian w montażu bezołowiowym

Dyrektywa RoHS ma największy wpływ na procesy lutowania, powszechnie stosowane w elektronice do łączenia zespołów elektronicznych na płytkach drukowanych. Z dniem 1 lipca 2006 roku wdrożenie dyrektywy RoHS stało się faktem. Oznacza to konieczność wytwarzania wyrobów elektronicznych zgodnych z dyrektywą przynajmniej przez tych producentów, których nie objęły wyłączenia z dyrektywy. Dyrektywa najwięcej zmian wprowadziła w montażu elektronicznym, ponieważ wdrożenie technologii bezołowiowej pociągnęło za sobą szereg istotnych zmian w stosowanych materiałach, wyposażeniu i procesach.

1.3.1. Stopy bezołowiowe

Największa zmiana dotyczy wdrożenia alternatywnych do SnPb lutów. Do zastosowań na skalę przemysłową zalecane są stopy: SnAg, SnCu, SnAgCu (Europa i USA) oraz SnAgBi, SnZnBi (Japonia). W porównaniu z SnPb charakteryzują się one wyższymi temperaturami topnienia: Sn99,3Cu0,7 (227ºC), Sn96,5SnAg3,5 (221ºC), SnAg(3–4)Cu(0,5–0,7) (217–219ºC) oraz większym napięciem powierzchniowym, co utrudnia prowadzenie procesu lutowania. Luty te polecane są przez wiele konsorcjów naukowych: IDEALS, SOLDERTEC, iNEMI, NoNE, LEADOUT, GreenRoSE.

1.3.2. Topniki

Powszechnie stosowane topniki do lutowania na fali zawierają aktywatory, na ogół kwasowe i ewentualnie halogenkowe, rozpuszczone w alkoholu izopropylowym, Już pierwsze próby lutowania na fali stopami bezołowiowymi z wykorzystaniem tradycyjnych topników wykazały, że podniesienie temperatury lutowania wymaga stosowania w topnikach nowych żywic i aktywatorów o zwiększonej aktywności i odporności termicznej. Topnik do bezołowiowego lutowania na fali musi pracować w temperaturze wyższej o ok. 20ºC w strefie grzania wstępnego (odparowanie rozpuszczalnika) i aktywnie działać w strefie lutowania, w wyższej o 30ºC temperaturze fali stopionego lutowia przez 3 s.

Do lutowania bezołowiowego zaleca się tzw. topniki VOC-free (VOC – *Volatile Organic Compounds*), czyli topniki, które nie zawierają lotnych związków organicznych oraz zawierają w swoim składzie innego typu aktywatory. Topniki VOC-free są przyjazne dla środowiska, ponieważ oparte są na wodzie, która jest nietoksyczna i niepalna [32].

Nowe topniki mogą wymagać nowego sposobu nanoszenia, tzn. częściej stosuje się nanoszenie natryskiem niż pianą, ze względu na mniejszą lepkość tych topników.

1.3.3. Pasty lutownicze

Zmiany, jakie nastąpiły w składzie bezołowiowych past lutowniczych, to zastosowanie stopów bezołowiowych oraz aktywniejszych i odporniejszych na temperaturę składników topników. Najwięcej dostępnych jest past ze stopami typu SAC (SnAgCu) o temperaturze topnienia 217–219ºC. W Europie stosowane są głównie pasty typu *no clean*, których pozostałości po lutowaniu teoretycznie nie muszą być usuwane.

1.3.4. Płytki drukowane

W procesie lutowania bezołowiowego laminaty muszą być odporniejsze na wyższą temperaturę, tzn. nie powinny się wypaczać ani podlegać procesowi rozdzielania warstw (delaminacji) podczas lutowania. Dlatego laminaty na płytki drukowane do lutowania bezołowiowego powinny się charakteryzować wyższą niż 150ºC temperaturą zaszklenia (T_g). Aby spełniać wymagania dyrektywy RoHS, płytki drukowane powinny być wykonane z laminatów bezhalogenowych, tzn. nie powinny zawierać związków halogenowych zmniejszających palność tworzyw sztucznych PBB (polibromowanych bifenyli) i PBDE (polibromowanych eterów difenylowych). Również maski przeciwlutowe stosowane na płytki drukowane nie powinny zawierać związków halogenowych i powinny być kompatybilne z lutami bezołowiowymi. Przejście na technologię bezołowiową wymaga lutownych powłok bezołowiowych i odejścia od tradycyjnych powłok SnPb. W pierwszym rzędzie wykorzystano w tym celu alternatywne powłoki Ni/Au i OSP. Aktualnie dostępne i zalecane do procesu lutowania bezołowiowego są płytki drukowane z powłokami: SnCu i SnAgCu (HASL), cyną immersyjną, srebrem immersyjnym, ENIG (złoto na podwarstwie niklu), OSP (powłoki organiczne).

1.3.5. Podzespoły

Tradycyjne wyprowadzenia podzespołów elektronicznych pokrywane są najczęściej eutektycznym stopem SnPb. Aktualnie wyprowadzenia bezołowiowe pokryte są czystą cyną lub stopami cyny (SnAg, SnCu), lub powłokami Ni/Pd, Ag oraz Ni/Au [33]. Na wyprowadzeniach i końcówkach podzespołów pokrytych cyną może w trakcie składowania wystąpić zjawisko powstawania nitkowych wiskerów, czyli kryształów cyny. Z tego względu należy wybierać podzespoły takich producentów, którzy poprzez zastosowanie odpowiedniego procesu nakładania powłoki cynowej gwarantują brak takich efektów, mogących prowadzić do zwarć i innych wad lutowniczych.

Producenci podzespołów elektronicznych są zobligowani dyrektywą RoHS do usunięcia środków zmniejszających palenie tj. polibromowanych bifenyli i polibromowanych eterów difenylowych z tworzyw stosowanych na obudowy. Ponadto podzespoły muszą być również rozważone pod kątem możliwości ich narażania na wyższe temperatury lutowania bez zachodzenia niekorzystnych zjawisk typu rozwarstwiania, spurchlenia (*popcorning*), na które szczególnie podatne są obudowy tworzywowe złączy i podzespołów BGA.

1.3.6. Środki myjące

Po procesie lutowania, szczególnie gdy używa się aktywnych topników lub często też ze względów estetycznych, stosuje się proces mycia. Najbardziej rozpowszechniony-

mi zmywaczami w elektronice były chlorowcowe pochodne fluorowęglowodorów alifatycznych, tzw. freony. Stwierdzono, że chociaż związki te są nieaktywne w niskich warstwach atmosfery, jednak przenoszone do górnych warstw przyczyniają się do redukcji, ochronnej dla życia ziemskiego, warstwy ozonu. Zgodnie z Protokołem Montrealskim stopniowo zaczęto wycofywać freony z produkcji, szczególnie freon CFC-113 najpowszechniej stosowany w elektronice. W najbliższym czasie należy się spodziewać dyrektywy unijnej zakazującej stosowania związków zawierających lotne substancje organiczne, czyli VOC. Ograniczy to znacznie media stosowane do mycia po lutowaniu. Stosowanie topników wodnych, tzw. VOC-free do lutowania na fali, wychodzi naprzeciw tym wymaganiom i umożliwia usuwanie wodą pozostałości topników po lutowaniu. Producenci środków myjących dla elektroniki proponują nowe dodatki do mycia wodnego, które skuteczniej usuwają pozostałości topników po lutowaniu bezołowiowym.

1.3.7. Agregaty do lutowania na fali

Przejście na technologię bezołowiową wymaga w pierwszym rzędzie zmiany lutu w wannie agregatu lutowniczego z SnPb na lut bezołowiowy, np. SnAgCu. Wanna lutownicza po zlaniu lutu SnPb musi być wypełniona czystą cyną, aby pozostałości ołowiu rozpuściły się w cynie i w ten sposób nie „zatruwały" lutu bezołowiowego w wannie agregatu lutowniczego po wymianie.

Występuje także problem rozpuszczania materiału wanny lutowniczej w stopie bezołowiowym, ponieważ luty bezołowiowe są bardziej agresywne niż lut SnPb w stosunku do tradycyjnych materiałów, z których wykonywane są wanny. I tak szybkość rozpuszczania stali kwasoodpornej w stopach bezołowiowych jest kilkakrotnie razy większa niż w SnPb. Te wanny będą się zatem zużywać już po kilku miesiącach. Dlatego producenci urządzeń wykonują wanny z powłoką antykorozyjną z bardziej odpornych materiałów [33].

Do bezołowiowego lutowania „na fali" zalecane są topniki VOC-free, które charakteryzują się inną lepkością niż topniki konwencjonalne. Z tego względu producenci urządzeń zalecają stosowanie natrysku, a nie piany, jako metody nanoszenia tych topników na płytki drukowane.

Drugą sprawą związaną z topnikami nowego typu jest wstępne grzanie. Temperatura górnej strony płytki drukowanej powinna wzrosnąć od 110 do 130ºC, aby usunąć wodę z płytki i zminimalizować szok termiczny przed wejściem na falę stopionego lutu. Gdyby woda dostała się na falę lutu, wówczas może nastąpić jego rozprysk na płytce, a kulki lutu mogą powodować zwarcia.

Obecność gazu ochronnego niewątpliwie korzystnie wpływa na zwilżalność oraz na zmniejszenie utleniania lutu, a co za tym idzie na ograniczenie ilości tworzącego się żużla. Poza tym atmosfera ochronna umożliwia stosowanie topników o mniejszej aktywności.

1.3.8. Piece do lutowania rozpływowego

Wprowadzenie technologii bezołowiowej jest związane z koniecznością wymiany pieca do lutowania rozpływowego. Sposób dostarczania ciepła do przetopienia pasty jest bardzo istotny ze względu na znaczne zawężenie okna technolo-

gicznego, czyli różnicę temperatury pomiędzy wymaganą temperaturą lutowania (odpowiednią dla danego stopu bezołowiowego) a temperaturą odporności termicznej podzespołów. Do lutowania rozpływowego z użyciem past bezołowiowych zalecane są piece konwekcyjne z wymuszonym obiegiem powietrza (lub gazu ochronnego). Stosowanie gazu ochronnego jest szczególnie zalecane w przypadku stosowania płytek drukowanych z powłoką organiczną (OSP), ponieważ gaz obojętny zapobiega utlenianiu organicznej powłoki na płytce drukowanej i poprawia jej lutowność. Jednak stosowanie gazu obojętnego może też prowadzić do negatywnych skutków, jak występowanie efektu nagrobkowego (*tombstoning*) w przypadku bardzo małych podzespołów do montażu powierzchniowego (typu *chip*).

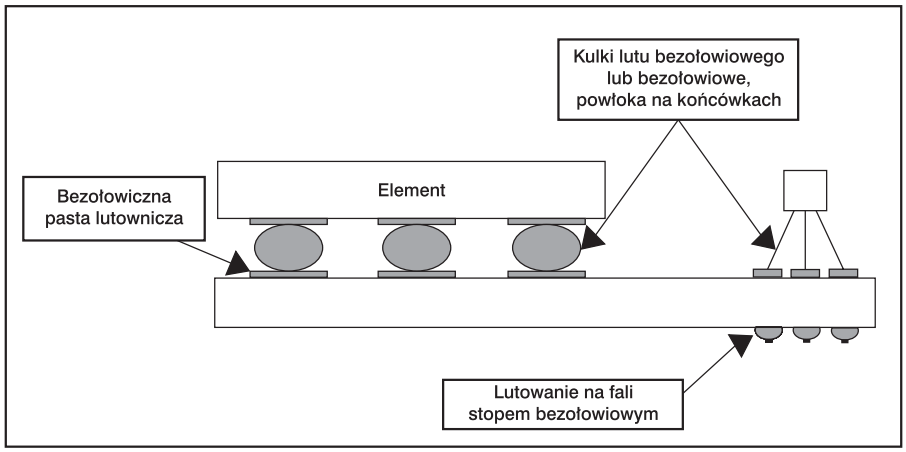
Dla przeprowadzenia prawidłowego procesu lutowania rozpływowego konieczne jest dobranie odpowiedniego profilu temperaturowo-czasowego dla danego układu (wielkość płytki, wielkość podzespołów, rodzaj pasty lutowniczej) tak, aby właściwie dobrać temperaturę i czas lutowania oraz czas chłodzenia. Długoterminowa niezawodność połączeń SMT zależy w znacznym stopniu od szybkości chłodzenia lutu podczas jego zestalania się. W przypadku lutowania rozpływowego pastami bezołowiowymi niezwykle ważne jest monitorowanie procesu, ze szczególnym uwzględnieniem procesu chłodzenia [34].

1.3.9. Procesy lutowania

Początkowo pod terminami „lutowanie bezołowiowe", „technologia bezołowiowa" czy „montaż bezołowiowy" rozumiano tylko zamianę stopu cynowo-ołowiowego, stosowanego w procesie lutowania, na stop bezołowiowy. Badania nad bezołowiowymi substytutami lutów cynowo-ołowiowych wykazały, że ze względów technicznych w technologii bezołowiowej należy stosować nie tylko luty bezołowiowe w agregatach lutowniczych czy pasty ze stopami bezołowiowymi do lutowania w piecach rozpływowych, ale trzeba również używać płytek drukowanych z bezołowiowymi powłokami na polach lutowniczych i w otworach oraz podzespołów z bezołowiowymi powłokami na końcówkach i wyprowadzeniach (**rysunek 1.6**).

Dopiero takie podejście do lutowania bezołowiowego może gwarantować, że gotowy wyrób nie będzie zawierał ołowiu na poziomie wyższym niż 0,1% w substancji jednorodnej.

Ustawienia nowego procesu lutowania, a do takiego należy zaliczyć lutowanie bezołowiowe, dokonuje się empirycznie. Jak bardzo jest to skomplikowany proces, niech świadczy o tym liczba zmiennych np. w procesie lutowania na fali: rodzaj stopu (temperatura lutowania, czas lutowania), rodzaj topnika (sposób nanoszenia topnika, jego ilość na płytce, temperatura wstępnego grzania), rodzaj lutowanego podłoża (lutowność powłoki płytki drukowanej, rodzaj maski na płytce drukowanej), lutowność wyprowadzeń podzespołów, szybkość przesuwu transportera, głębokość zanurzania płytki w lucie (odległość płytki od fali), obecność atmosfery ochronnej. Wszystkie te parametry mają wpływ na jakość połączenia lutowanego oraz ilość powstałych defektów lutowniczych. Monitorowanie pro-



Rys. 1.6. Przykład zmontowanego zespołu elektronicznego w technologii bezołowiowej

cesu jest szczególnie ważne w lutowaniu bezołowiowym, ponieważ zawęża się okno technologiczne.

Przed przystąpieniem do ustawienia parametrów procesu należy zadać sobie pytania: jakie należy przyjąć kryteria oceny, na podstawie których oceni się połączenie lutowane za prawidłowe, a jakie za niedopuszczalne, jaki należy przyjąć dopuszczalny poziom defektów, zanieczyszczeń itp. Rzecz w tym, że standardy normalizacyjne, dotyczące wymagań dla lutowania bezołowiowego są dopiero w fazie tworzenia. Wiadomo natomiast, że już samym wyglądem zewnętrznym bezołowiowe połączenia lutowane różnią się od połączeń cynowo-ołowiowych. Nie są tak błyszczące, mogą być mniej gładkie i niejednokrotnie lut nie pokrywa całego pola lutowniczego czy otworu.

Proces lutowania ręcznego również będzie wymagał zmian materiałowych, oprzyrządowania oraz prowadzenia samego procesu. Niezbędne będą bezołowiowe druty lutownicze z topnikiem w rdzeniu odpornym na wyższe temperatury lutowania, stacje lutownicze umożliwiające dostarczenie większej ilości ciepła, groty lutownicze odporne na rozpuszczanie w lutach bezołowiowych. Ze wszystkich procesów lutowania, lutowanie ręczne jest najbardziej zależne od indywidualnych umiejętności operatora. Dlatego tak ważne jest szkolenie zarówno operatorów, jak i pracowników kontroli.

1.3.10. Znakowanie elementów, podzespołów i zespołów w wykonaniu bezołowiowym

Dyrektywa RoHS nie wypowiada się w kwestii znakowania wyrobów wykonanych w technologii bezołowiowej. Znakowanie jest sprawą dobrowolną i zależy od producenta wyrobu lub od ustaleń między wytwórcą a odbiorcą (klientem, kupującym). Obecnie istnieje norma międzynarodowa IPC-1066 [35], dotycząca znakowania, symboli i nalepek do identyfikacji materiałów bezołowiowych i innych materiałów zawartych w bezołowiowych zespołach na płytkach drukowanych, podzespołach i przyrządach półprzewodnikowych.

Tab. 1.5. Symbole i kategorie materiałów

Symbol powłoki	Kategoria powłoki/stopu
e1	SnAgCu
e2	SnCu lub SnAg, lub SnAgCuX, ale X nie może być Bi albo Zn
e3	czysta cyna – Sn
e4	metale szlachetne – Ag, Au, NiPd, NiPdAu, lecz nie Sn
e5	SnZn, SnZnX (gdzie X nie może być Bi)
e6	stopy zawierające Bi
e7	niskotemperaturowe stopy (<150°C) zawierające In, lecz nie Bi

W omawianej normie zaproponowano wprowadzenie symbolu „e" opatrzonego cyfrą do oznaczenia kategorii materiałów, tzn.: powłok finalnych na płytkach drukowanych, na wyprowadzeniach/końcówkach podzespołów i/lub do oznaczania stopu/stopów w paście używanych do montażu (**tabela 1.5**).

Litera „e" powinna być napisana stylem Arial w widocznym miejscu i kontrastowo do podłoża. Wielkość litery jest dowolna, lecz litera powinna być czytelna bez stosowania powiększenia.

Sposób naniesienia dowolny (nadruk, wytrawienie, itp) zapewniający czytelność bez powiększania.

Kontenery z podzespołami lub zmontowanymi zespołami na płytkach drukowanych powinny być oznakowane nalepką identyfikacyjną, zawierającą napis „bez ołowiu" lub symbol oznaczający „bez ołowiu", kategorię materiału bez ołowiu: (płytki drukowane, podzespoły czy polutowane zespoły), ogólną identyfikacją materiałów użytych do wytworzenia zespołu, takich jak pasta lutownicza, powłoka wyprowadzeń/końcówek, stop lutowniczy wyprowadzeń. Brak takiej nalepki świadczy o tym, że przesyłany materiał jest wykonany w tradycyjnej technologii cynowo-ołowiowej. Takiej nalepki nie można umieszczać na wyrobach, które zawierają ołów wyłączony z dyrektywy RoHS. Napis „Pb-free" – „bez ołowiu" oznacza, że ołów jest na poziomie 0,1% w materiale jednorodnym, czyli spełnione są wymagania dyrektywy RoHS.

Symbol „bez ołowiu" (**rysunek 1.7**) może być umieszczany nie tylko na nalepce, ale również na podzespole, na płytce drukowanej, lub na zmontowanym zespole elektronicznym.

Rys 1.7. Symbol „bez ołowiu"

Kolor symbolu „bez ołowiu" jest ściśle określony. Tło powinno być białe, a symbol i litery kontrastowe. Nie należy jednak używać koloru czerwonego, jak to najczęściej się do tej pory zdarza, ponieważ jest on zarezerwowany dla oznaczenia niebezpieczeństwa.

W przypadku płytek drukowanych powinno się zaznaczyć, czy są wykonane w technologii bezhalogenowej (symbol HF). Poza tym płytki powinny być znakowane symbolem i napisem „Pb-Free" oraz powinna być umieszczona kategoria powłoki. Norma proponuje podawanie symboli pokryć polimerowych na gotowe wyroby: ER dla żywicy epoksydowej, UR dla żywicy uretanowej, AR dla żywicy akrylowej, SR dla żywicy silikonowej i XY dla paraksylenu.

Symbole na podzespołach mogą być umieszczane na każdym podzespole indywidualnie, jeśli jest wystarczająca ilość miejsca, lecz napisy powinny być kontrastowe i czytelne bez powiększania, napisane stylem Arial. Jeśli podzespół jest zbyt mały, należy informacje umieszczać na nalepkach, które należy dołączać do kontenerów.

Gdy więcej niż jeden stop został użyty do lutowania płytek drukowanych, umieszcza się kategorie wg następującego kodu: najpierw symbol stopu użytego do lutowania rozpływowego, a potem do lutowania na fali. Symbole umieszcza się na górnej, podzespołowej stronie płyki drukowanej, w dolnym rogu. Kolor powinien być kontrastowy, wielkość liter dowolna, z tym, że litery powinny być czytelne bez powiększania, napisane stylem Arial. Sekwencje znaków, obrazujące proces wytwarzania, powinny występować w następującej kolejności HF, e1/e1, ER, co oznacza: **HF** bezhalogenowy (*Halogen-free*), **e1/e1** – lutowanie rozpływowe i na fali stopem SnAgCu, **ER** – zespoły pokryte po lutowaniu żywicą epoksydową.

W przypadku, gdy podczas naprawy lub serwisu użyto stopu zawierającego ołów, wówczas należy zamalować na ciemno symbol kategorii stopu.

Jeżeli do tej pory stosowane były kody paskowe na kontenerach, w których zawarte były informacje dotyczące producenta, numeru partii, oznaczenia wyrobu itp., to takie oznakowanie nie ulega zmianie i powinno być umieszczane jak dotychczas.

W Europie działa komitet TC91 IEC, który przygotowuje normę o znakowaniu wyrobów bezołowiowych. Przewiduje się, że omówiona wyżej norma amerykańska zostanie włączona do przygotowywanej normy J-STD [36].

Literatura do rozdziału 1

1. Z. Morawska, *Metody badań lutowności. Cz.* 1. *Podzespoły elektroniczne,* „Elektronika", 12/95, str. 40.
2. J. Hwang, *Modern Solder Technology for Competetive Electronics Manufacturing*, Mc Graw-Hill, 1996.
3. N. Sinnadurai, H. K. Charles, *Electronic and Nature Can Be Compatible (ENABLE)*. XXIV Proceedings of the International Conference IMAPS-Poland 2000, 25–29 września 2000, Rytro, str. 63.

4. H. K. Charles, N. Sinnadurai, *Microelectronics*: *Rinsing to the Environmental Challenge!?* Proceedings of 12th European Microelectronics and Packaging Conference, czerwiec 1999, str. 78.
5. M. Jakubowski, *Ołów i jego związki nieorganiczne.* „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy", Zeszyt 21, Warszawa, 1999.
6. R. Magdziak, *Elektronika bez ołowiu*: *tak, ale...* – rozmowa z dr J. Gromkiem i dr K. Bukat z ITR, „Elektronik", 06/2000, str. 27–31.
7. Directive 2002/95/EC of the European Parlament and of the Council of 27 January 2003 *on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS).* „Official Journal of the European Union", L 37/19, 13.2.2003.
8. K. Bukat, *Stan prac nad lutami i montażem bezołowiowym*, „Elektronika", 6/2001, str. 3–7.
9. Z. Drozd, K. Bukat, J. Gromek, *Nowe dyrektywy europejskie dla przemysłu elektrycznego i elektronicznego*, „Elektronika" 3/2004, str. 41–43.
10. *Guidance for Pb-free Soldering Technology*, Tamura Corporation, Japonia, Productronica, Monachium, 1999.
11. Directive 2002/96/EC of the European Parlament and of the Council of 27 January 2003 *on waste electrical and electronic equipment (WEEE).* „Official Journal of the European Union" L 37/24, 13.2.2003.
12. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 6 października 2004 r. „*w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących ograniczenia wykorzystywania w sprzęcie elektronicznym i elektrycznym niektórych substancji mogących negatywnie oddziaływać na środowisko*", Dz. U. Nr 229, poz. 2309 i 2310 z 6.10.2004r.
13. Decyzja Komisji 2005/618/WE z dnia 18 sierpnia 2005 r. *zmieniająca dyrektywę* 2002/95/*WE Parlamentu Europejskiego i Rady w celu ustanowienia maksymalnej wartości koncentracji niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym*, Dz. Urz. UE L 214/65, 19.8.2005 PL.
14. Decyzja Komisji 2005/717/WE z dnia 13 października 2005 r. *zmieniająca, w celu dostosowania do postępu technicznego, załącznik do dyrektywy* 2002/95/*WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym*, Dz. Urz. UE L 271/48, 15.10.2005 PL.
15. Decyzja Komisji 2005/747/WE z dnia 21 października 2005 r. *zmieniająca, w celu dostosowania do postępu technicznego, załącznik do dyrektywy* 2002/95/*WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym*, Dz. Urz. UE L 280/18, 25.10.2005 PL.
16. Decyzja Komisji 2006/310/WE z dnia 21 kwietnia 2006 r. *zmieniająca, w celu dostosowania do postępu technicznego, załącznik do dyrektywy* 2002/95/*WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do zwolnień w zastosowaniu ołowiu*, Dz. Urz. UE L 115/38, 28.4.2006 PL.

17. Decyzja Komisji 2006/690/WE z dnia 12 października 2006 r. *zmieniająca, w celu dostosowania do postępu technicznego, załącznik do dyrektywy* 2002/95/*WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wyłączeń w przypadku zastosowania ołowiu w szkle kryształowym*, Dz. Urz. UE L 283/47, 14.10.2006 PL.
18. Decyzja Komisji 2006/691/WE z dnia 12 października 2006 r. *zmieniająca, w celu dostosowania do postępu technicznego, załącznik do dyrektywy* 2002/95/*WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wyłączeń w przypadku zastosowania ołowiu i kadmu*, Dz. Urz. UE L 283/48, 14.10.2006 PL.
19. Decyzja Komisji 2006/692/WE z dnia 12 października 2006 r. *zmieniająca, w celu dostosowania do postępu technicznego, załącznik do dyrektywy* 2002/95/*WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wyłączeń w przypadku zastosowania sześciowartościowego chromu*, Dz. Urz. UE L 283/50, 14.10.2006 PL.
20. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 marca 2007r. „*w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących ograniczenia wykorzystywania w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym niektórych substancji mogących negatywnie oddziaływać na środowisko*", Dz. U. Nr 69, poz. 457.
21. *Frequently Asked Questions on Directive* 2002/95/*EC on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS) and Directive* 2002/96/*EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE),* maj 2005.
22. IPC-1752 *Materials Declaration Management*, luty 2006.
23. IPC-1752-1 *Material Composition Declaration Descroption Form – Class 1 to 4*, luty 2006.
24. IPC-1752-2 *Material Composition Declaration Descroption Form – Class 1, 2, 5 and 6*, luty 2006
25. IPC-1751. *Generic Requirements for Declaration Process Management*, luty 2006.
26. IPC-1752-3 *User Guide for Materials Declaration Forms*, luty 2006.
27. IPC-1753 *Laminate Structure Declaration Management.*
28. IPC-1754 *Printed Board Declaration Management.*
29. IPC-1755 *Electric Assembly Declaration Management*.
30. IEC 62231, *Ed.*1: *Procedures for Determination of Levels of Regulated Substances in Electrotechnical Products* (Draft 111/24/CD), 2006.
31. Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. „*o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym*", Dz. U. Nr 180, poz. 1495.
32. T. Lawrence, I. Wilding, B. Chowdhary, W. Kruppa, *Liquid Flux for the New Millenium*, Joint International Congress and Exibition, Electronics Goes Green 2000+, wrzesień 11–13, 2000, Berlin, Proceedings str. 159–164.
33. G. Dipstraten, *Selection of materials and equipment*, „EPP Europe" 3/4, marzec/kwiecień 2001, str. 31.
34. G. *Dipstraten, Establishing a robust process,* „EPP Europe" 7/8, lipiec/sierpień 2001, str. 16.

35. IPC-1066, *Marking, Symbols and Labels for Identification of Lead-Free and Other Reportable Materials in Lead-Free Assemblies*, *Components and Devices*, styczeń 2005.
36. W. Huck, *Marking and Labeling*, Prezentacja na SEMICON Europa 2006, Monachium, kwiecień 2006.