

# Opóźnienia i hazard w układach kombinacyjnych

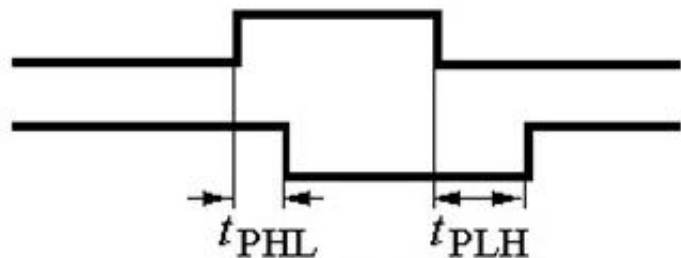
Układy cyfrowe opisywane są przy pomocy wielu parametrów. Jednym z istotniejszych z punktu widzenia działania gotowego układu jest czas propagacji – czyli opóźnienie między zmianą sygnału na wejściu elementu a odpowiadającą mu zmianą na wyjściu elementu.

Często dwa czasy propagacji:

$t_{PLH}$  opóźnienie przy zmianie wyjścia z 0 na 1

$t_{PHL}$  opóźnienie przy zmianie wyjścia z 1 na 0

$t_{PD}$  średni czas propagacji



$$t_{PD} = \frac{t_{PLH} + t_{PHL}}{2}$$

Faktyczny czas propagacji zależy od technologii wykonania układów Cyfrowych (ps do ok. 100 ns)



# Hazard statyczny

Czasy propagacji, lub ich akumulacja mogą prowadzić do występowania nieprawidłowych stanów na wyjściach układu. Zwykle stany nieprawidłowe są krótkotrwałe, ale w określonych przypadkach mogą powodować nieprawidłowe funkcjonowanie całego układu.

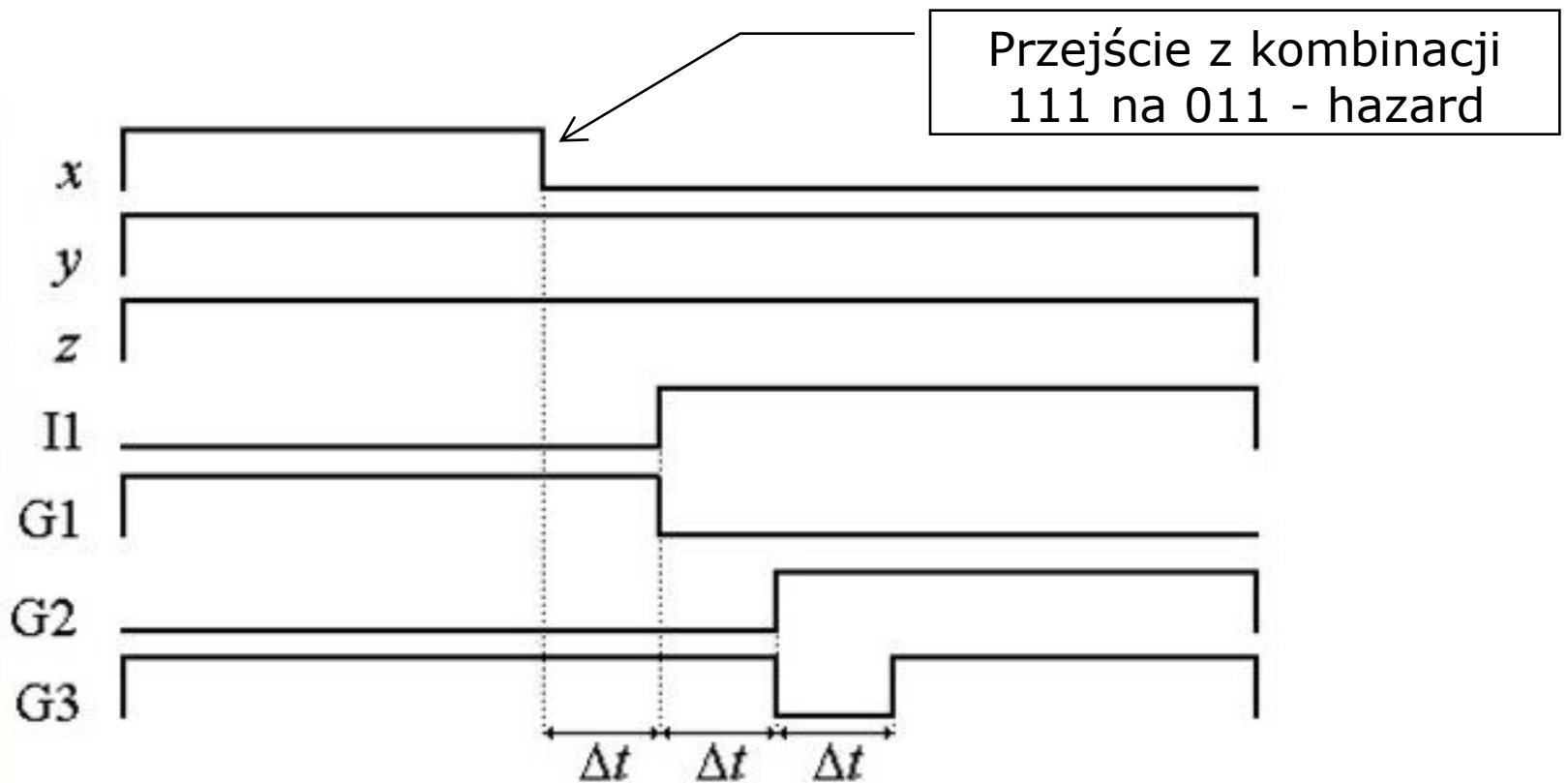
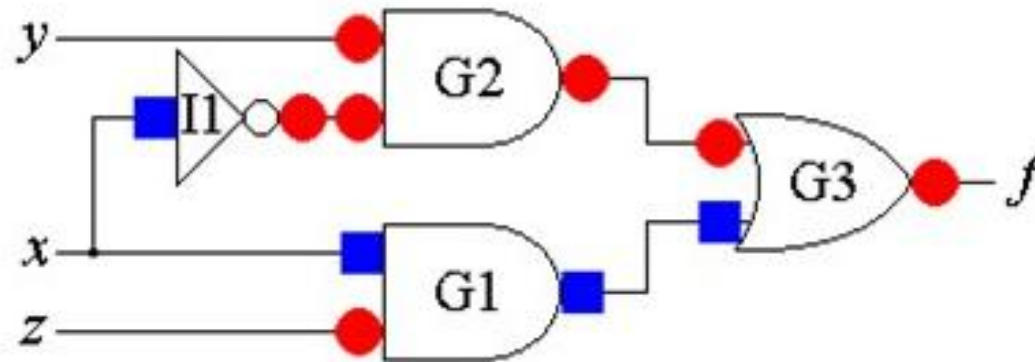
**Hazard statyczny** to chwilowa 1 w czasie gdy wyjście powinno być w stanie 0 (tzw. hazard w zerach) lub chwilowe 0 gdy wyjście powinno być w stanie wysokim (tzw. Hazard w jedynkach)

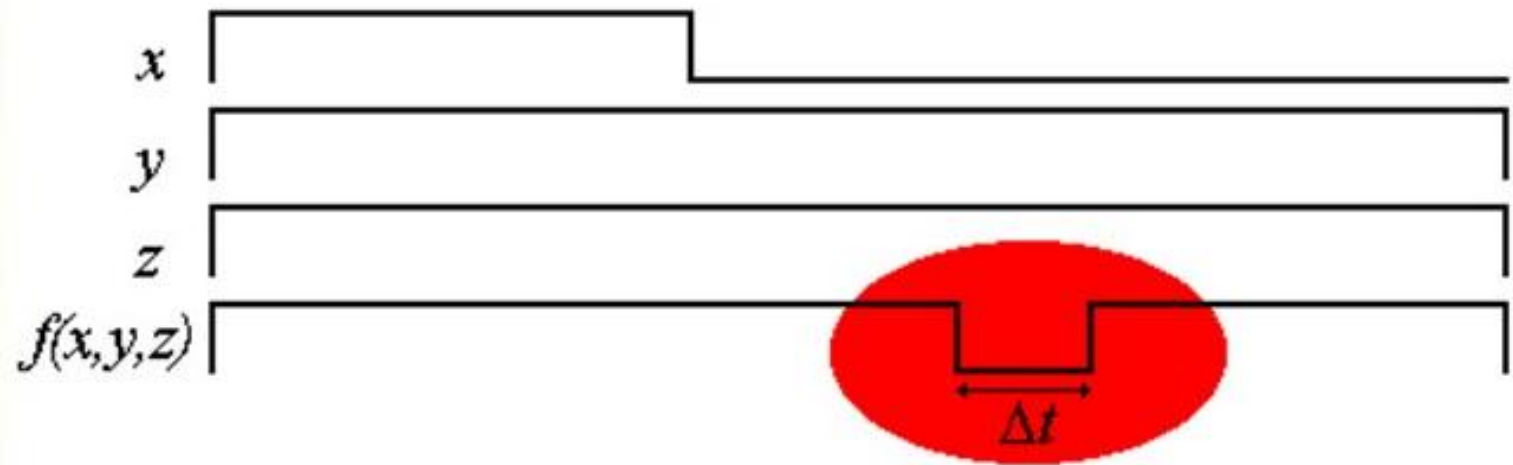
# Hazard w jedynkach

Występuje w realizacjach postaci alternatywnej normalnej (sum iloczynów zmiennych i ich negacji) gdy wyrażenie zawiera zmienne zanegowane (w układzie są bramki negacji) NP.

$$f(x, y, z) = \bar{x}y + xz$$

$x \backslash yz$		00	01	11	10
0	0	0	1	1	
1	0	1	1	0	





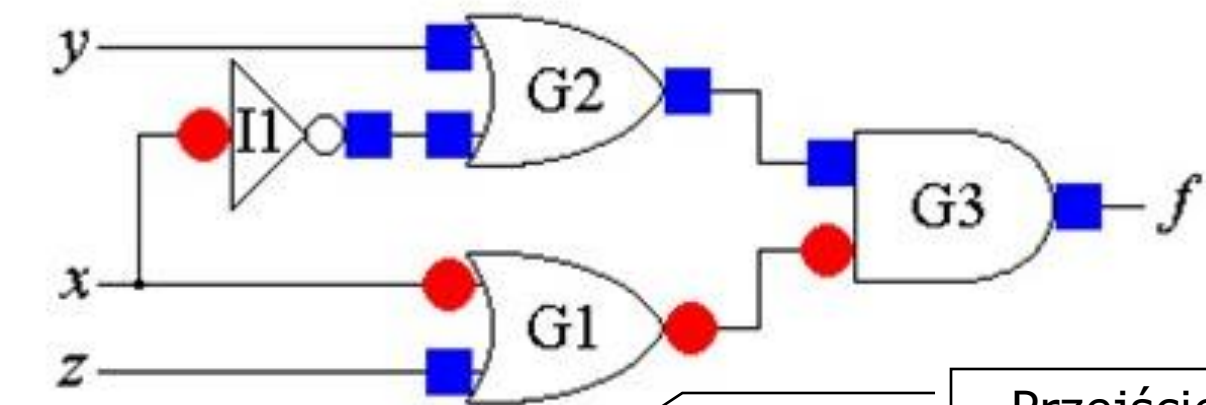
# Hazard w zerach

Występuje w realizacjach postaci koniunkcyjnej normalnej (iloczynu sum zmiennych i ich negacji) gdy wyrażenie zawiera zmienne zanegowane (w układzie są bramki negacji)

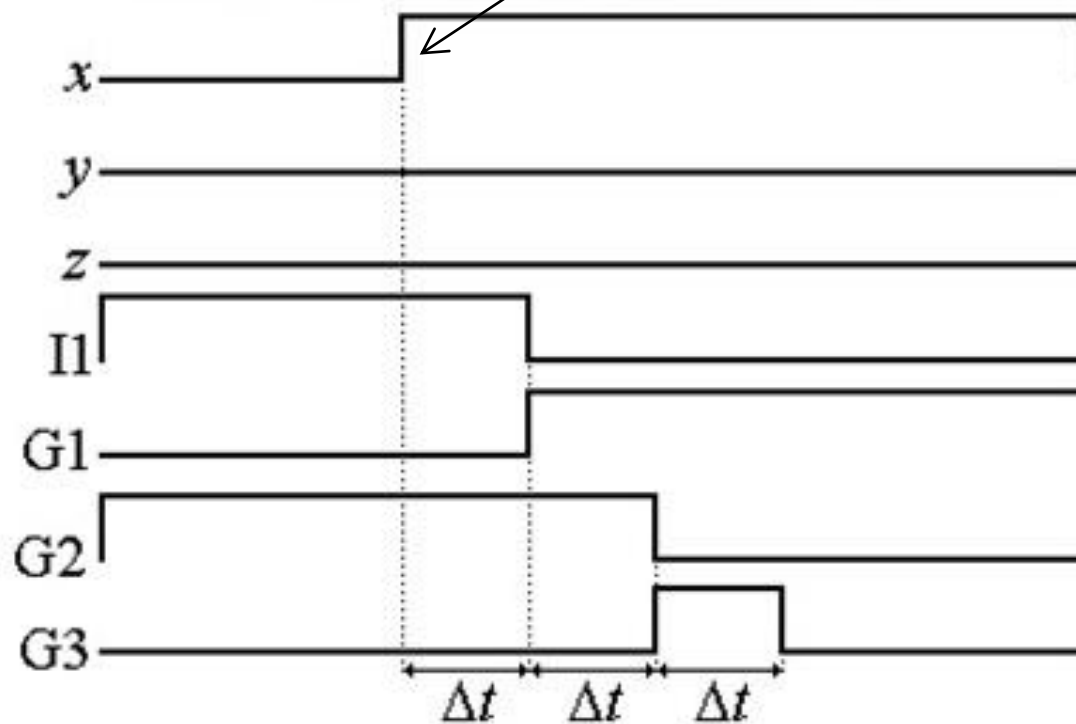
NP.

$$f(x, y, z) = \overline{x} + y + \overline{x} + z$$

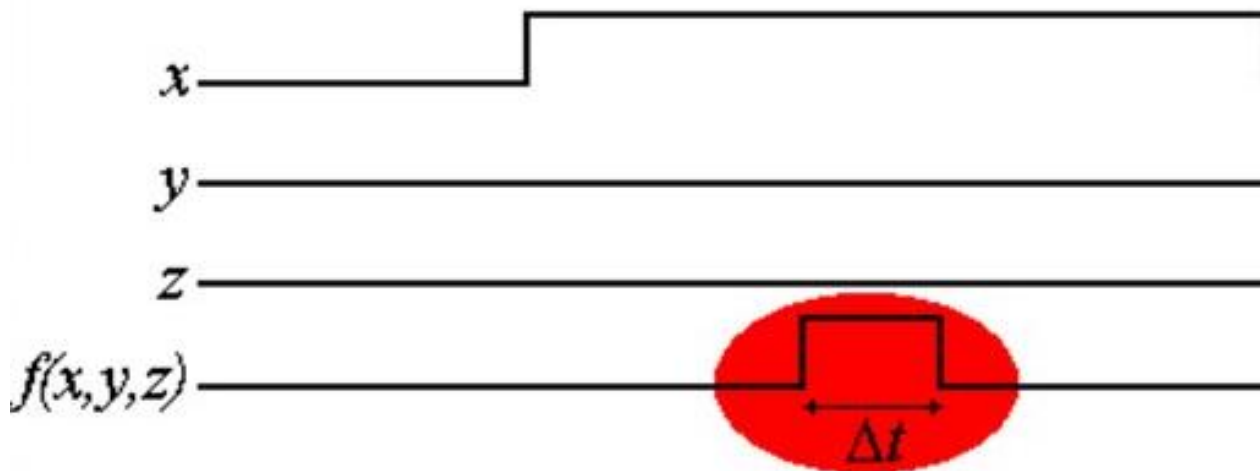
$x \backslash yz$	00	01	11	10
0	<u>0</u>	1	1	<u>0</u>
1	<u>0</u>	<u>0</u>	1	1



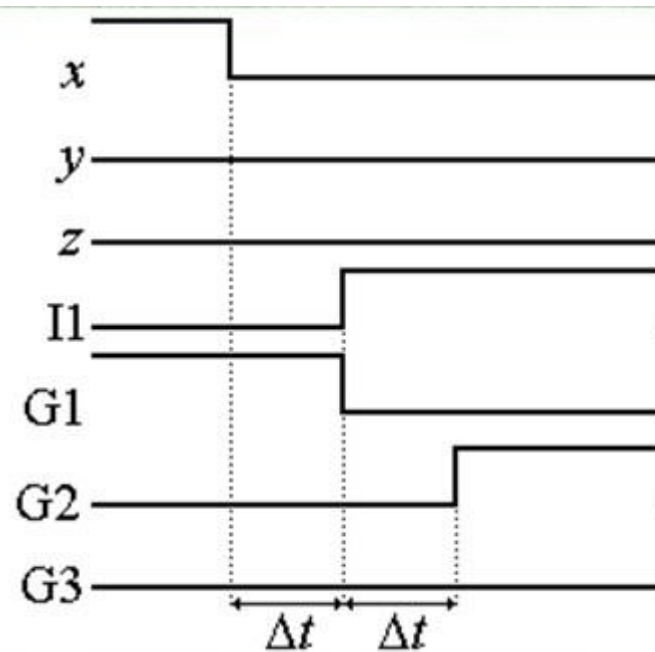
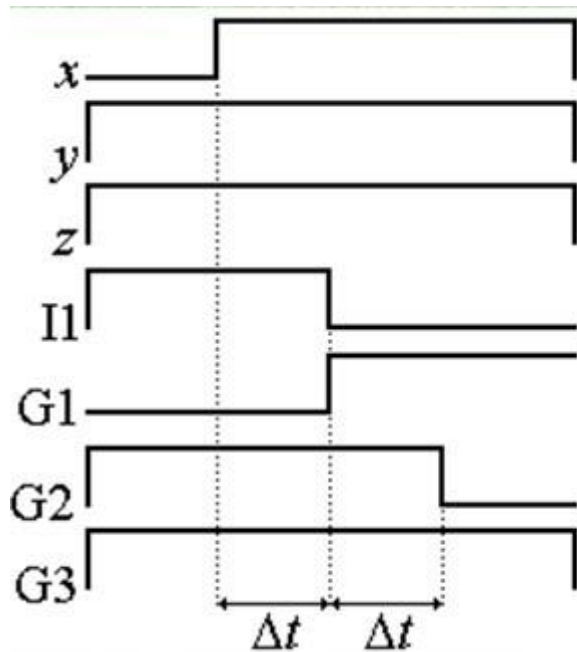
Przejsie z kombinacji  
000 na 100 - hazard



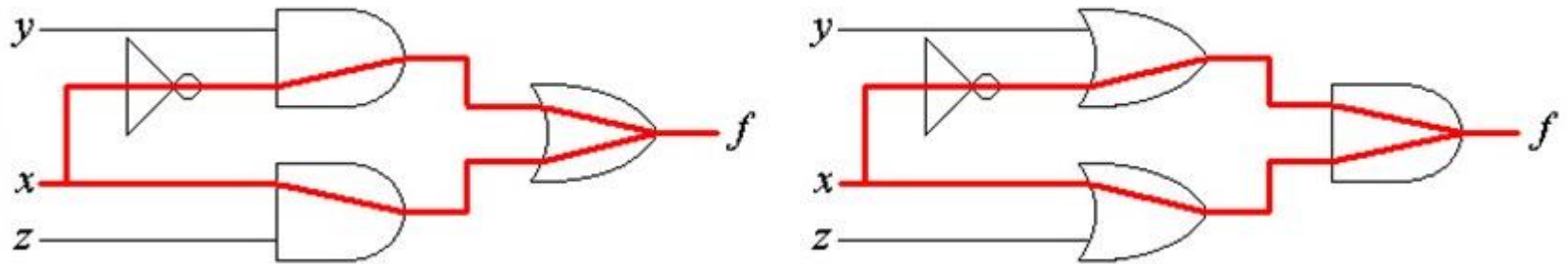





Przy odwrotnych zmianach wejść (011→111  
i 100→000) hazard nie występuje.



W obydwu przypadkach sygnał odpowiadający zmiennej  $x$  propaguje się z wejścia do wyjścia wzdłuż dwóch ścieżek o różnym opóźnieniu (przez dwie lub trzy bramki):



Hazard pojawia się, gdy zmiana sygnału odpowiadająca zmiennej  $x$  poruszająca się krótszą ścieżką już dotarła do wyjścia, a dłuższą nie.

- 
- W przykładach bramki o identycznych czasach propagacji, więc hazard nie jest spowodowany różnicami tych czasów,
  - Gdyby bramki miały różne czasy propagacji mogą się pojawić dodatkowe hazardy,
  - W układzie zaprojektowanym jako bezhazardowy – hazard nie wystąpi nawet gdy bramki będą miały bardzo różne czasy propagacji

# Wykrywanie i usuwanie hazardu statycznego

Hazard statyczny można wykryć i zlikwidować zanim układ zostanie zrealizowany – konieczne jest przeanalizowanie tabel Karnaugh'a.

x \ yz				
	00	01	11	10
0	0 <sub>0</sub>	1 <sub>1</sub>	1 <sub>3</sub>	0 <sub>2</sub>
1	0 <sub>4</sub>	0 <sub>5</sub>	1 <sub>7</sub>	1 <sub>6</sub>

$f(x,y,z)$

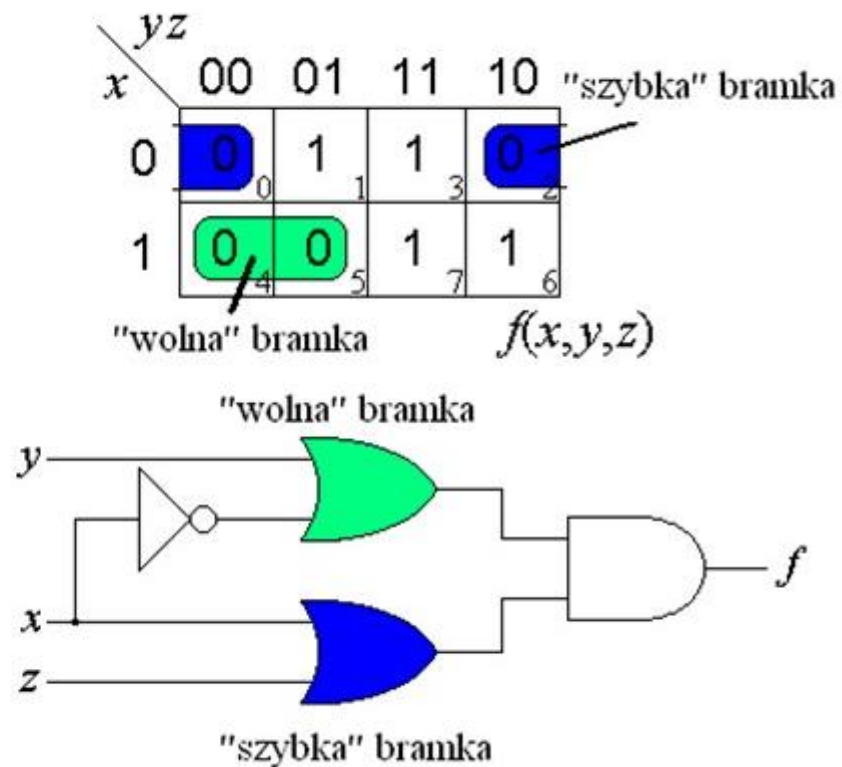
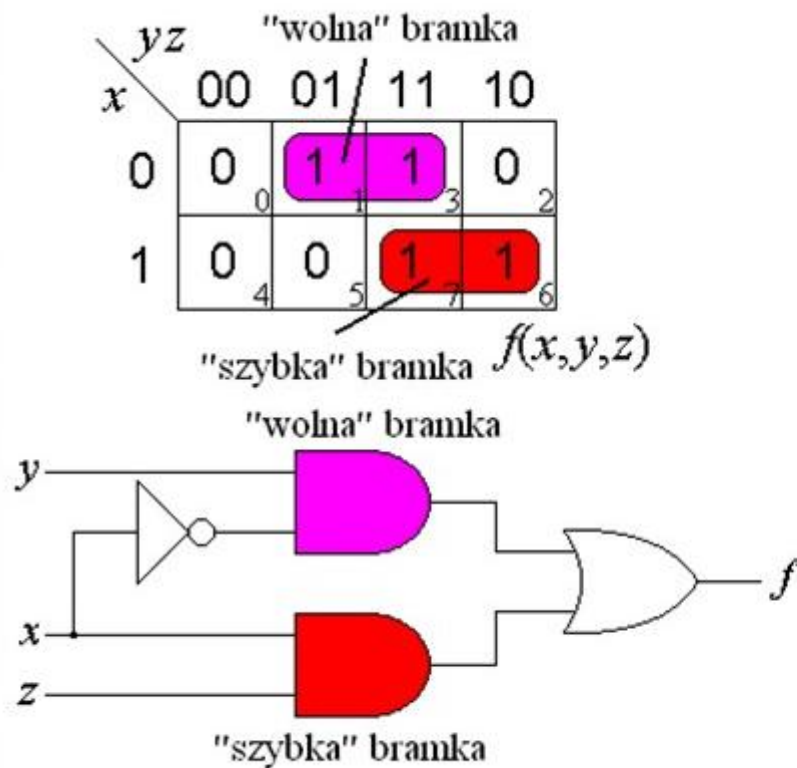
x \ yz				
	00	01	11	10
0	0 <sub>0</sub>	1 <sub>1</sub>	1 <sub>3</sub>	0 <sub>2</sub>
1	0 <sub>4</sub>	0 <sub>5</sub>	1 <sub>7</sub>	1 <sub>6</sub>

$f(x,y,z)$

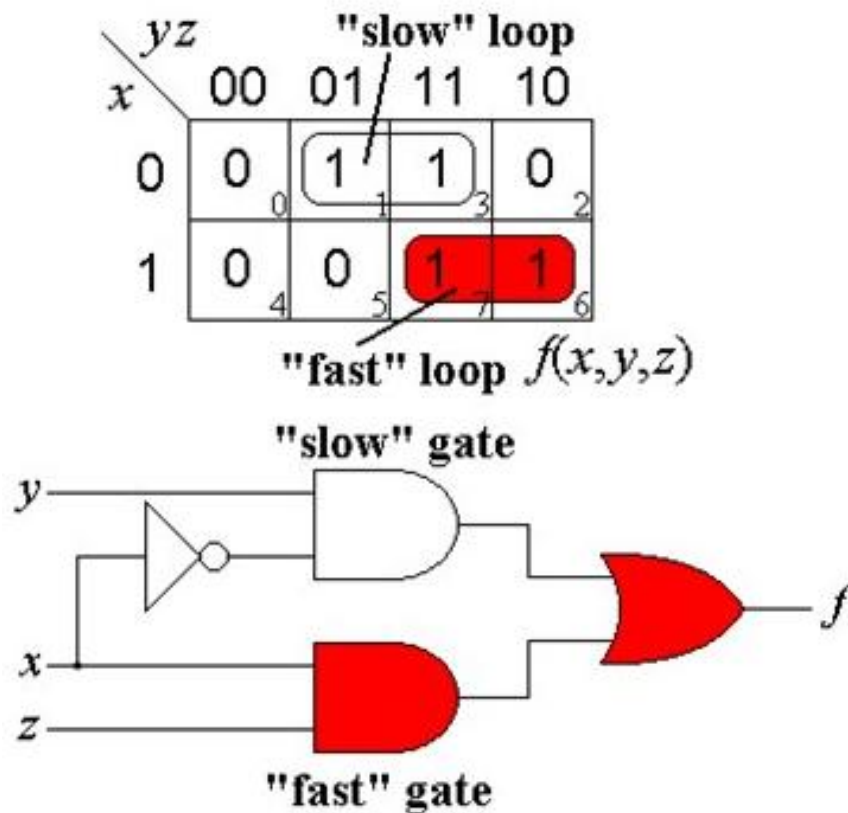
Niebezpieczeństwo występuje gdy dwie grupy jedynek lub zer grsamiczą ze sobą

W rzeczywistych realizacjach grupy jedynek (zer)  
odpowiadają konkretnym bramkom.

Bramka, która na wejście otrzymuje sygnał zanegowany  
jest bramką „wolniejszą”



W realizacjach układów opartych na postaci alternatywnej normalnej hazard pojawia się przy przełączaniu z bramki „szybkiej” na „wolną”. „Szybka” przestaje produkować jedynkę, a „wolna” jeszcze nie produkuje...

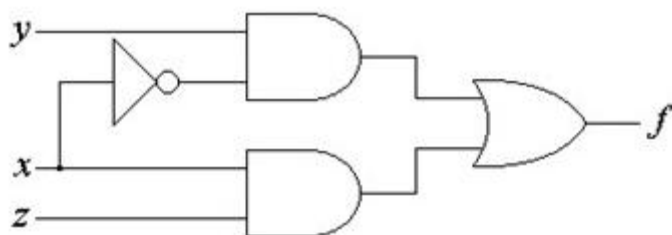


Przy przełączeniu z bramki „wolnej” na „szybką” nie ma problemu – ponieważ na szybkiej bramce mamy jedynkę zanim bramka wolna przełączy się w stan niski.

Hazardu można uniknąć jeśli wprowadzi się dodatkową  
bramkę, produkującą potrzebny sygnał (wysoki lub niski) w  
czasie przełączania z bramki „szybkiej” na „wolną”

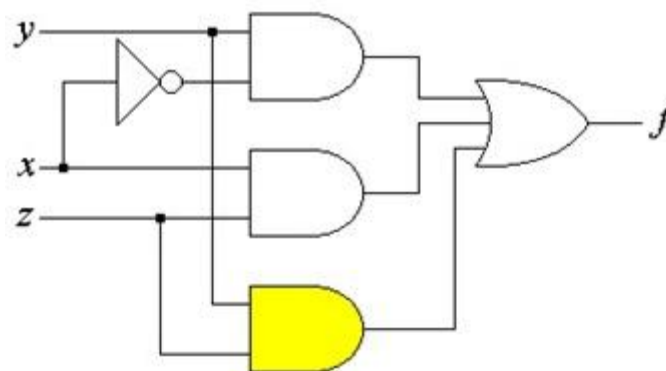
		yz			
		00	01	11	10
x	0	0	1	1	0
	1	0	0	1	1

$f(x,y,z)$



		yz			
		00	01	11	10
x	0	0	1	1	0
	1	0	0	1	1

$f(x,y,z)$

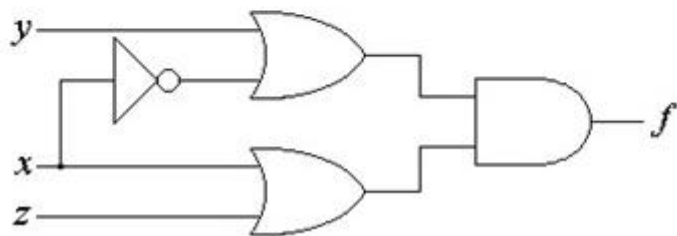


Układ bez hazardu



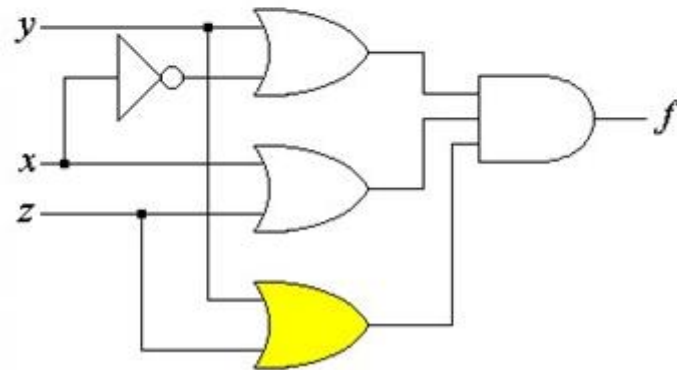
x \ yz	yz			
	00	01	11	10
0	0 <sub>0</sub>	1 <sub>1</sub>	1 <sub>3</sub>	0 <sub>2</sub>
1	0 <sub>4</sub>	0 <sub>5</sub>	1 <sub>7</sub>	1 <sub>6</sub>

$f(x,y,z)$

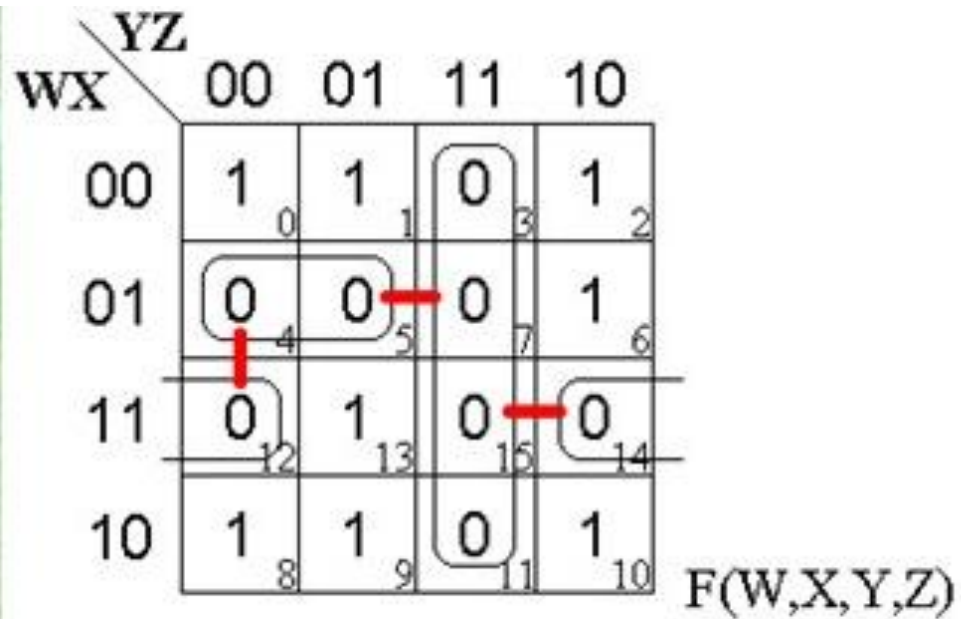


x \ yz	yz			
	00	01	11	10
0	0 <sub>0</sub>	1 <sub>1</sub>	1 <sub>3</sub>	0 <sub>2</sub>
1	0 <sub>4</sub>	0 <sub>5</sub>	1 <sub>7</sub>	1 <sub>6</sub>

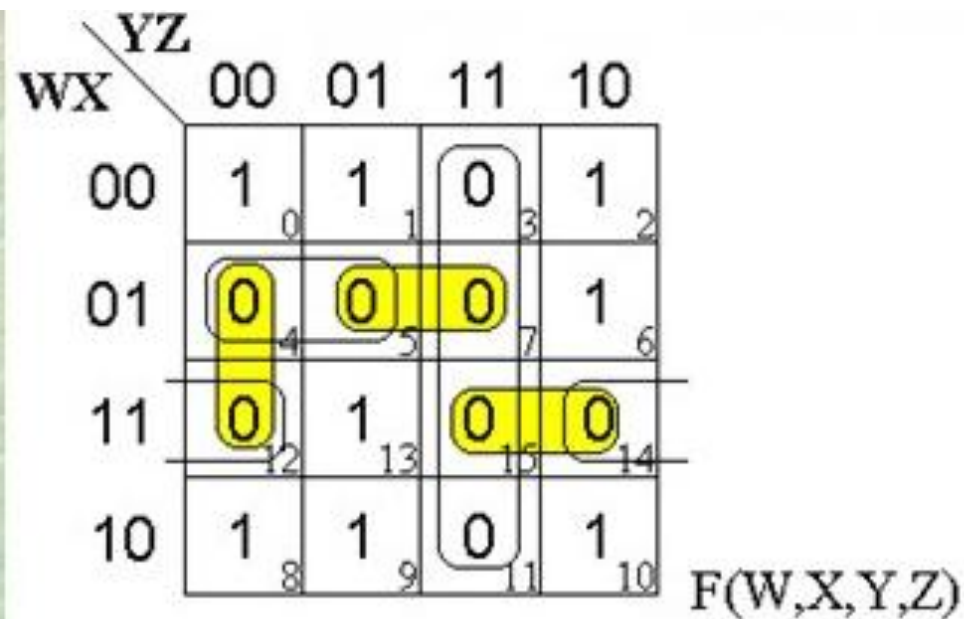
$f(x,y,z)$




Układ bez hazardu



Hazard



Brak hazardu



WX \ YZ		YZ			
		00	01	11	10
00	00	0 <sub>0</sub>	0 <sub>1</sub>	1 <sub>3</sub>	1 <sub>2</sub>
	01	0 <sub>4</sub>	1 <sub>5</sub>	1 <sub>7</sub>	0 <sub>6</sub>
11	11	0 <sub>12</sub>	1 <sub>13</sub>	1 <sub>15</sub>	0 <sub>14</sub>
	10	1 <sub>8</sub>	1 <sub>9</sub>	0 <sub>11</sub>	0 <sub>10</sub>

$f(W,X,Y,Z)$

Hazard

WX \ YZ		YZ			
		00	01	11	10
00	00	0 <sub>0</sub>	0 <sub>1</sub>	1 <sub>3</sub>	1 <sub>2</sub>
	01	0 <sub>4</sub>	1 <sub>5</sub>	1 <sub>7</sub>	0 <sub>6</sub>
11	11	0 <sub>12</sub>	1 <sub>13</sub>	1 <sub>15</sub>	0 <sub>14</sub>
	10	1 <sub>8</sub>	1 <sub>9</sub>	0 <sub>11</sub>	0 <sub>10</sub>

$f(W,X,Y,Z)$

Brak hazardu

# Hazard dynamiczny

Hazard dynamiczny występuje gdy zamiast pojedynczej zmiany z 1 na 0 (lub z 0 na 1) sygnał zmienia się kilka razy zanim osiągnie wymagany stan, np.  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 0 \rightarrow 1$  ( $1 \rightarrow 0 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ ).

Niebezpieczeństwo hazardu gdy sygnały propagują się z wejścia do wyjścia układu ścieżkami o co najmniej trzech różnych długościach.

$$f(a,b,c,d) = \bar{a}\bar{b} + ab\bar{c} + abd + \bar{b}cd$$

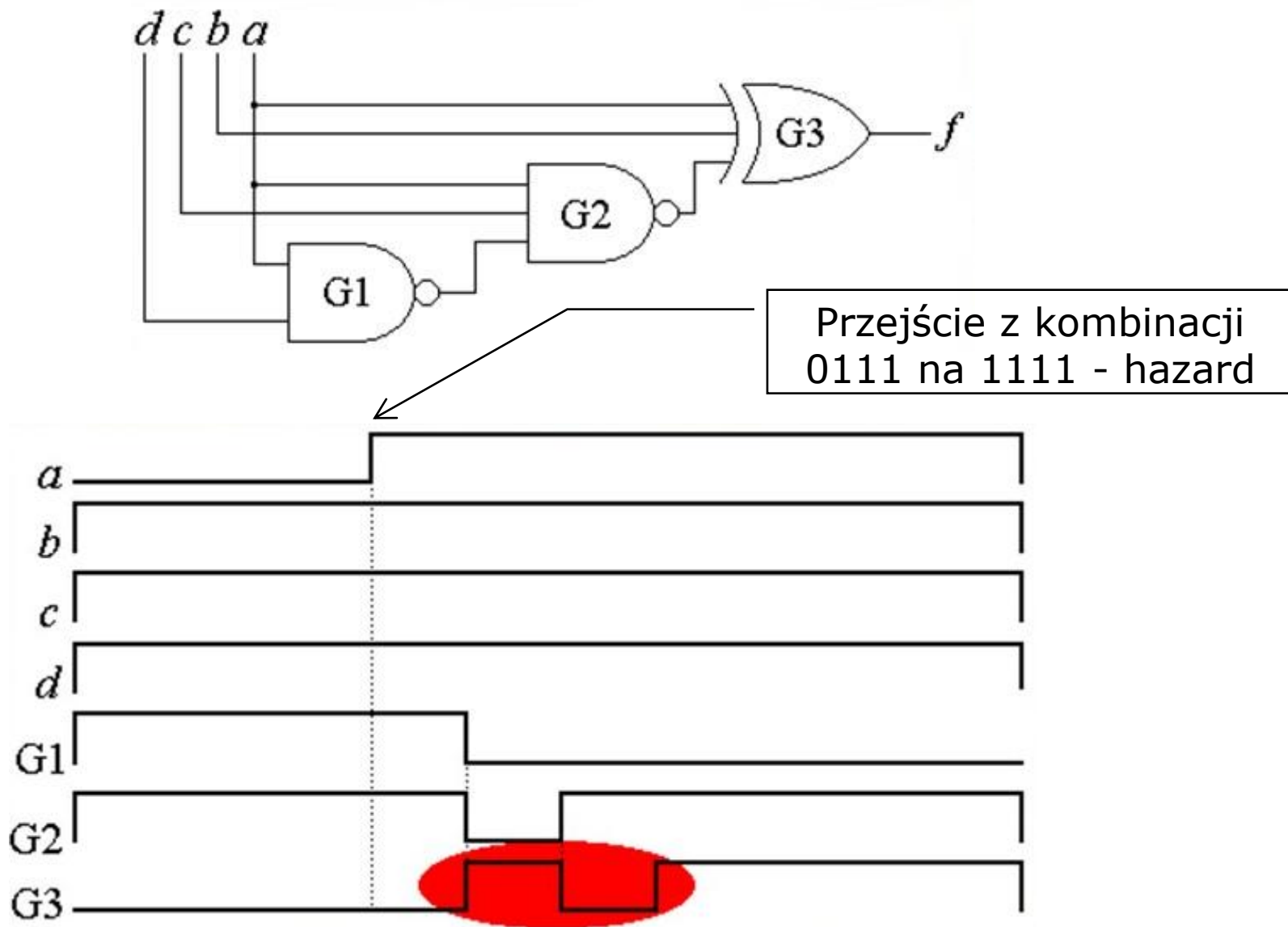
$a \ b$		$c \ d$			
		00	01	11	10
00	1 <sub>0</sub>	1 <sub>1</sub>	1 <sub>3</sub>	1 <sub>2</sub>	
01	0 <sub>4</sub>	0 <sub>5</sub>	0 <sub>7</sub>	0 <sub>6</sub>	
11	1 <sub>12</sub>	1 <sub>13</sub>	1 <sub>15</sub>	0 <sub>14</sub>	
10	0 <sub>8</sub>	0 <sub>9</sub>	0 <sub>11</sub>	1 <sub>10</sub>	

$f(a,b,c,d)$

Bez hazardu potrzebne 9 bramek:

4 NOT, 3 AND3, 1 AND2, 1 OR4

Można uprościć wyrażenie i zastosować tylko 3 bramki





Hazard dynamiczny występuje gdy:

- sygnał propaguje się ścieżkami o trzech różnych długościach
  - sygnał a
- W układzie występuje podukład z hazardem statycznym (bramka G2)