

KWALIFIKACJA INF.02 i INF.07

CZĘŚĆ 2

PROTOKÓŁ STP

ROZDZIAŁ 6

6 PROTOKÓŁ STP

Rozdział opisuje podstawowe pojęcia dotyczące protokołów STP i RSTP oraz główne problemy występujące w sieciach zbudowanych z przełączników.

6.1 Wprowadzenie do protokołu STP

Sieci budowane z wielu przełączników zazwyczaj charakteryzują się redundancją, która poza tym, że podnosi niezawodność sieci, to może spowodować częściowe lub całkowite unieruchomienie sieci. Prostim przykładem może być rozsyłanie ramki rozgłoszeniowej (z adresem docelowym **FF:FF:FF:FF**), powodujące tzw. **broadcast storm**.

Spanning Tree Protocol został zdefiniowany w standardzie IEEE 802.1d) i działa drugiej warstwie modelu ISO/OSI. Przeznaczeniem protokołu STP jest ustalenie, które porty przełącznika muszą być zablokowane, tak aby ruch sieciowy ramek nie powodował powstawaniu pętli w warstwie drugiej, czyli w tzw. domenie rozgłoszeniowej. Protokół STP używa algorytmu **STA** (ang. *Spanning-Tree Algorithm*). Celem algorytmu jest ustanowienie tylko jednej ścieżki komunikacyjnej pomiędzy dwoma stacjami. Algorytm STA ustawia każdy z portów przełączników w stan aktywny lub w stan blokady. Ramki mogą być przesyłane tylko portami aktywnymi. Protokół STP jest automatycznie włączony na każdym przełączniku Cisco.

6.2 Podstawowe pojęcia związane z protokołem STP

Broadcast domain (pol. *domena rozgłoszeniowa*) – Grupa urządzeń sieciowych w której urządzenia mogą transmitować informacje do pozostałych urządzeń w segmencie sieci, bez potrzeby przechodzenia przez urządzenie rutujące.

Stany portów przełącznika – Porty w przełączniku mogą mieć następujące stany:

BLK (*blocking*) – Port blokowany przyjmuje rolę portu alternatywnego (*alternate port*) i nie uczestniczy w przekazywaniu ramek Ethernet. W stanie blokowania, port tylko odbiera ramki BPDU i przetwarza je odpowiednim module przełącznika, w celu wybrania najlepszej ścieżki do przełącznika głównego i ustawia role portów: główny (*root port*) oraz desygnowanych (*designated port*).

LSN (*Listening*) – Port jest w stanu nasłuchu. W stanie nasłuchu port odbiera ramki BPDU i przekazuje je do odpowiedniego modułu przełącznika.

Po upływie 15 sekund, port przechodzi w stan LRN (Learning).

LRN (*Learning*) – Port zmienia stan z LSN na LRN (uczenie się adresów MAC). Port odbiera i przetwarza ramki BPDU. Wykonywana jest aktualizacja tablicy adresów MAC (ang. *mac address table*).

Po upływie 15 sekund, port przechodzi w stan FWD (Forwarding).

FWD (*Forwarding*) – port przekazuje ramki (wysyła i odbiera ramki BPDU) oraz ramki Ethernet.

Root Bridge (pol. *most główny*) – Przełącznik główny, to pojęcie określające rolę przełącznika w STP. Przełącznik główny stanowi punkt odniesienia w topologii STP sieci LAN. W topologii STP może być tylko jeden przełącznik główny.

Ramka BPDU (*Bridge Protocol Data Unit*) – ramka zawierająca informacje protokołu Spanning Tree Protocol (STP). Przełączniki wysyłają ramki BPDU na adres multicastowy MAC **01:80:C2:00:00:00** w celu realizacji algorytmu STA. Najważniejsze pola zawarte w ramce BPDU to: **Root BID, Root Patch Cost, Sender BID, Port ID**.

BID (*Bridge Identifier*) – identyfikator przełącznika to wartość numeryczna określana na podstawie priorytetu przełącznika (wartość 32768), rozszerzonego identyfikatora systemowego **sys-id-ext** (wartość 1) oraz adresu MAC portu wysyłającego ramkę BPDU. Domyślna wartość **BID** wynosi **32769**.

Root BID (*Root Bridge Identifier*) – identyfikator przełącznika głównego (ang. *Root Bridge ID*), zależny od priorytetu przełącznika (domyślna wartość 32769) oraz adresu MAC portu wysyłającego ramkę BPDU.

Root Path Cost – umowna odległość do przełącznika głównego podawana jako wartość kosztu (ang. *patch cost*). Domyślny koszt portu jest określony przez szybkość działania łącza – patrz tabela kosztów.

Szybkość łącza	Koszt (IEEE 802.1d)
10 Gb/s	2
1 Gb/s	4
100 Mb/s	19
10 Mb/s	100

Tabela 6.1 Tabela kosztów wg IEEE 802.1d

Sender BID (*Sender Bridge Identifier*) – identyfikator nadawcy ramki BPDU,

STP Port Priority (*Port Priority*) – priorytet portu przełącznika (wartość domyślna 128),

Port ID (*Port Identifier*) – identyfikator portu przełącznika składający się z priorytetu portu i numeru portu.

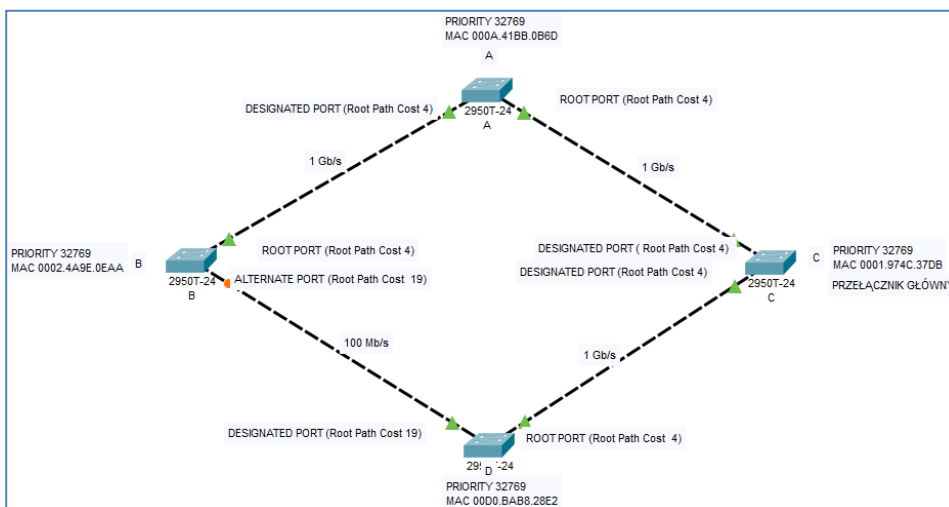
Root port (pol. *Port główny*) – rola portu przełącznika w protokole STP (na innym przełączniku niż przełącznik główny), który istnieje połączenie o najniższym koszcie, prowadzące do przełącznika głównego (ma najkrótszą ścieżkę do mostu głównego). Przełącznik mieć tylko jeden port główny. Wybór portu głównego określa algorytm STA.

Designated port (pol. *Port desygnowany*) – port desygnowany to port który może przekazywać ruch w sieci ale nie jest portem głównym. Na przełączniku głównym wszystkie porty są portami desygnowanymi.

Alternate port lub **Blocked port** (pol. *Port alternatywny lub Port blokowany*) – port blokowany alternatywny, przez który można połączyć się do przełącznika głównego, w przypadku awarii dotychczasowych sprawnych łączy.

6.3 Główne zasady działania algorytmu STA

6.3.1 Określenie wartości pól BID i Root BID wysyłanych przez przełączniki



Rysunek 6.1 Przykładowa topologia.

Przykładowo przełącznik A ma priorytet 32769 i adres MAC **000A.41BB.0B6D**. Przełącznik wyśle ramkę BPDU z wartościami pól:

- BID: **32769.000A.41BB.0B6D**
- Root BID: **32769.000A.41BB.0B6D**

Przykładowo przełącznik B ma priorytet 32769 i adres MAC **0002.4A9E.0EAA**. Przełącznik wyśle ramkę BPDU z

wartościami pól:

- BID: **32769.0002.4A9E.0EAA**
- Root BID: **32769.0002.4A9E.0EAA**

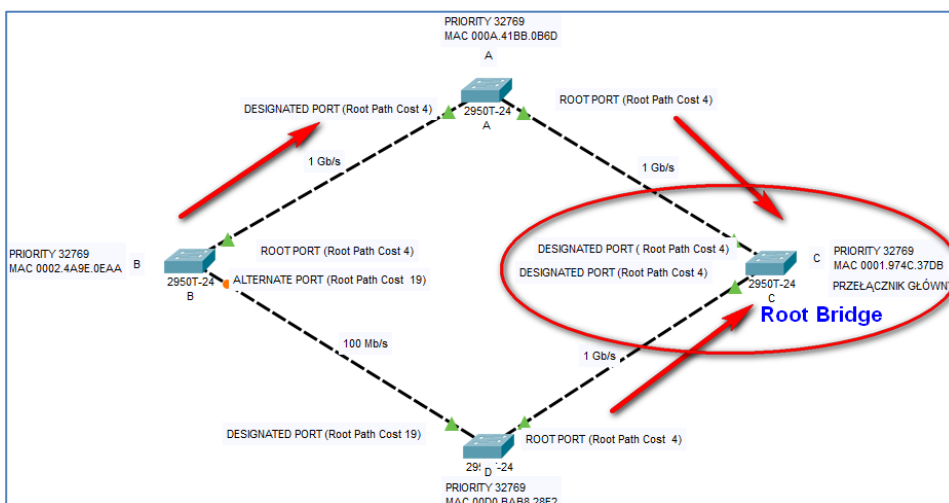
Przełącznik C ma priorytet 32769 i adres MAC **0001.974C.37DB**. Przełącznik wyśle ramkę BPDU z wartościami pól:

- BID: **32769.0001.974C.37DB**
- Root BID: **32769.0001.974C.37DB**

Przełącznik D ma priorytet 32769 i adres MAC **00D0.BAB8.28E2**. Przełącznik wyśle ramkę BPDU z wartościami pól:

- BID: **32769.00D0.BAB8.28E2**
- Root BID: **32769.00D0.BAB8.28E2**

6.3.2 Wybór przełącznika głównego (Root bridge)



Rysunek 6.2 Wybór przełącznika głównego w topologii STP.

Na początku działania algorytmu STA musi nastąpić tzw. elekcja głównego przełącznika STP. Głównym przełącznikiem staje się przełącznik o najmniejszej wartości **Root BID**.

W tym celu przełączniki wymieniają między sobą ramki BPDU (ramki wysyłane są co 2 sekundy) i ustalają który przełącznik ma najmniejszą wartość **Root BID** z pośród odebranych ramek, na przykład:

- 32769.000A.41BB.0B6D,
- 32769.0002.4A9E.0EAA,
- 32769.0001.974C.37DB, (wartość najmniejsza)
- 32769.00D0.BAB8.28E2.

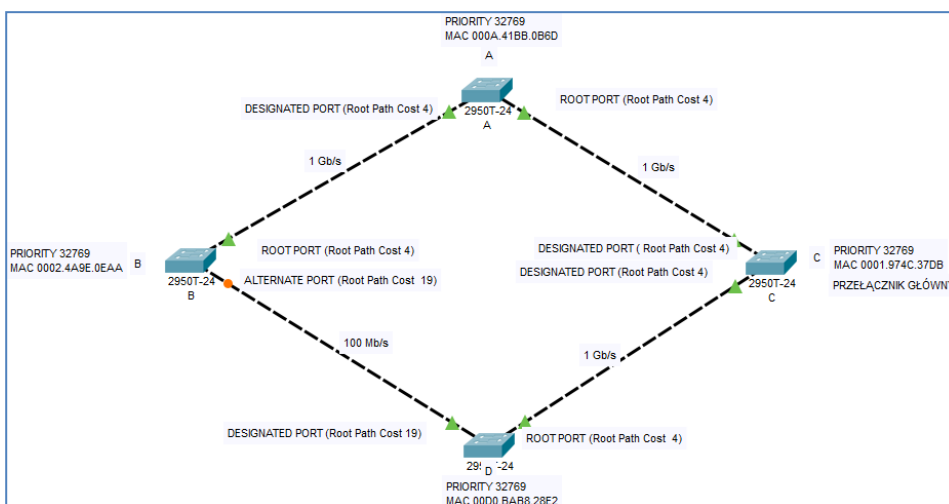
W przedstawionej topologii został wybrany przełącznik o najmniejszej wartości pola **Root BID**, czyli przełącznik C. Uwaga: wszystkie porty przełącznika głównego przyjmują rolę portów desygnowanych (**Desg**).

6.3.3 Ustalanie roli portu głównego (root port)

Po wyborze przełącznika głównego, pozostałe przełączniki muszą wybrać swój port główny (**root port**), czyli port przez który jest możliwy najmniejszy koszt dotarcia do przełącznika głównego.

W celu wybrania portu głównego dla danego przełącznika analizowane są ramki BPDU i wybierany jest port który będzie miał (**warunki muszą być spełnione w wymienionej kolejności**):

1. najmniejszy koszt ścieżki (**Root Path Cost**),
2. najmniejszą wartość BID urządzenia wysyłającego (**Sender BID**),
3. najniższy numer (**Port ID**),



Rysunek 6.3 Wybór portu głównego.

- Dla przełącznika A będzie to port przełącznika C.
- Dla przełącznika B będzie to port przełącznika C.
- Dla przełącznika D będzie to port przełącznika C.

6.3.4 Ustalanie roli portu desygnowanego (designated port)

Jeżeli suma kosztów (ang. *lowest accumulated path cost*) pomiędzy dwoma przełącznikami jest ta sama, to wybranym portem jest port, nie będący portem głównym i ustalony jako port desygnowany (ang. *designated port*).

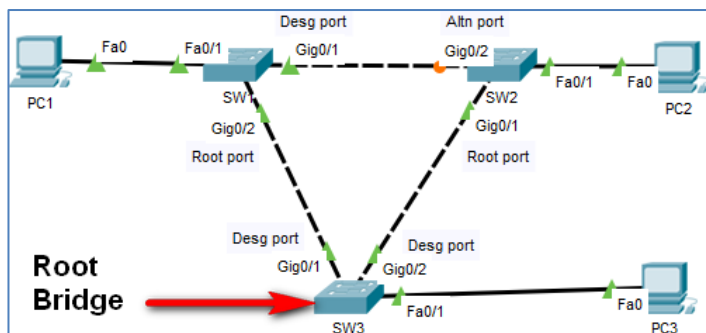
Każdy port, który nie został wybrany jako główny lub desygnowany zostanie ustawiony w tryb pracy **BLK** (ang. *blocking*) a dla protokołu STP stanie się on portem alternatywnym, oznaczonym jako **Altn** (ang. *alternate port*).

6.4 Obserwacja działania protokołu STP

Na każdym przełączniku protokół STP jest domyślnie włączony (nie wymagane jest żadne specjalne polecenie). Przeanalizujemy przykładową topologię, w której trzy przełączniki (SW1, SW2, SW3) są połączone w trójkąt, dla następujących trzech przypadków:

- wszystkie łącza między przełącznikami są sprawne,
- łącze pomiędzy przełącznikami SW2 i SW3 jest uszkodzone,
- łącze pomiędzy przełącznikami SW1 i SW3 jest uszkodzone.

W przypadku gdy wszystkie łącza są sprawne, następuje elekcja SW3 do roli przełącznika głównego (**Root Bridge**) na podstawie adresu MAC (przełącznik SW3 ma najmniejszy adres). Łącze między przełącznikiem SW1 i SW2 staje się łączem dodatkowym, o czym informuje nas rola portu Gig0/2 (**Altn**). W tej sytuacji ramki Ethernet komunikują się poprzez przełącznik SW3.



Rysunek 6.4 Topologia z przełącznikami SW1, SW2 i SW3 połączonymi w trójkąt.

Możemy to sprawdzić za pomocą polecenia: **show spanning-tree**.

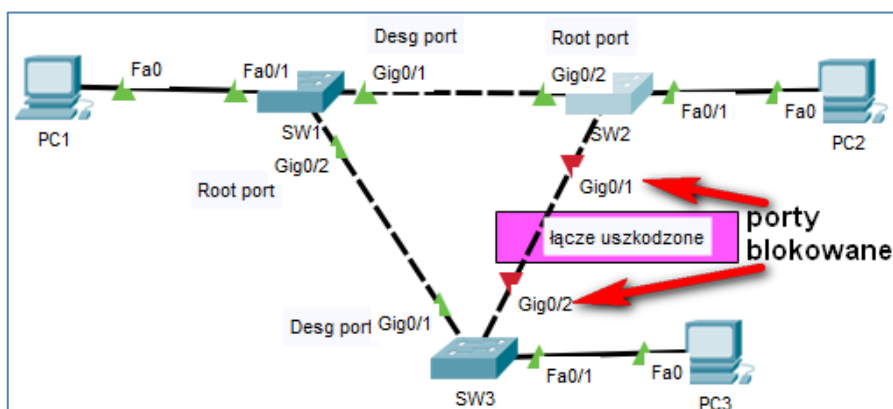
```
SW3#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
            Address     0001 C918 C0R1
            This bridge is the root
  Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
```

Rysunek 6.5 Sprawdzenie roli przełącznika SW3.

6.4.1 Pierwszy przypadek niesprawności łącza

W przypadku gdy łącze między SW2 i SW3 będzie niesprawne (np. uszkodzone), to także nastąpi elekcja SW3 do roli przełącznika głównego (**Root Bridge**) – w tym sensie nic się nie zmienia. Natomiast odpowiednie porty między przełącznikami SW2 i SW3 zostaną zablokowane (wejdą w stan **BLK**) oraz stracą możliwość elekcji do roli portów desygnowanych lub głównych.

Port **Gi0/2** w SW2 wejdzie w rolę portu głównego (**root port**), co pozwoli ominąć uszkodzone łącze. W tej sytuacji ramki Ethernet komunikują się poprzez łącza sprawne.



Rysunek 6.6 Topologia z uszkodzonym łączem między SW2 i SW3

```
SW2#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
             Address     0001.C918.C0B1
             Cost        8
             Port        26(GigabitEthernet0/2)
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769  (priority 32768 sys-id-ext 1)
             Address     00E0.F97E.9161
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time  20

Interface    Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1        Desg FWD 19       128.1   P2p
Gi0/2        Root FWD 4        128.26  P2p
```

Rysunek 6.7 Sprawdzenie stanu portów w przełączniku SW2.

```
SW3#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
             Address     0001.C918.C0B1
             This bridge is the root
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769  (priority 32768 sys-id-ext 1)
             Address     0001.C918.C0B1
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time  20

Interface    Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Gi0/1        Desg FWD 4        128.25  P2p
Fa0/1        Desg FWD 19       128.1   P2p
```

Rysunek 6.8 Sprawdzenie stanu portów w przełączniku SW3.

Aby wyjaśnić szczegółowo stan protokołu STP, użyjemy ponownie polecenia: **show spanning-tree**. na przełączniku pełniącym rolę tzw. **root**. W wyniku wykonania tego polecenia uzyskamy następujące informacje (w górnej części):

- priorytet przełącznika,
- adres MAC przełącznika,
- informację „**This bridge is the root**” (ten przełącznik jest główny w STP), oraz w dolnej części, informacje szczegółowe o portach:
 - nazwa interfejsu (pole **Interface**),
 - rola portu (pole **Role**),
 - status portu (pole **Sts**),
 - koszt portu (pole **Cost**),
 - priorytet portu (pole **Prio**),
 - numer portu (pole **Nbr**).

```

SW3#sh spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
             Address     0001.C918.C0B1
             This bridge is the root
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
             Address     0001.C918.C0B1
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time  20
    
```

Priorytet i adres MAC przełącznika. Przełącznik pełni rolę Root Bridge.

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
Fa0/1	Desg	FWD	19	128.1	P2p
Gi0/1	Desg	FWD	4	128.25	P2p

Role, statusy, koszty, priorytety portów

Rysunek 6.9 Szczegółowy wynik polecenia show spanning-tree na SW3

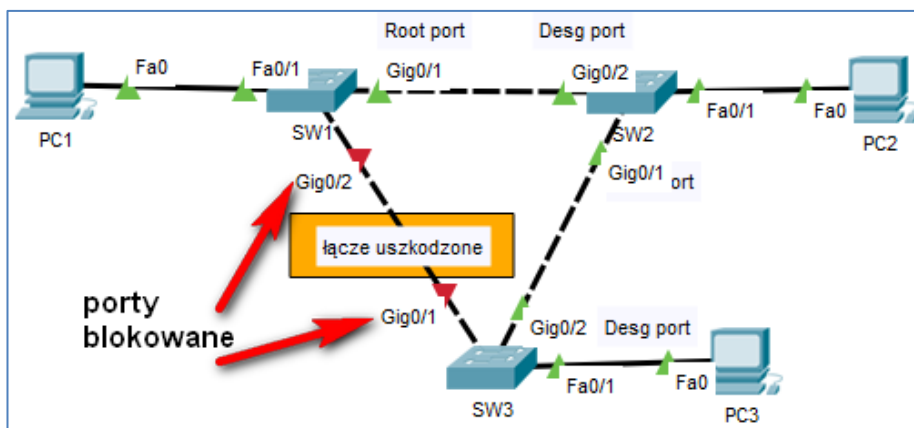
Port **Gi0/2** w przełączniku SW3 nie jest wyświetlony, ponieważ został on ustawiony jako zablokowany (**BLK**), więc w chwili obecnej nie należy do drzewa STP.

6.4.2 Drugi przypadek niesprawności łącza

W przypadku gdy łącze między SW1 i SW3 będzie niesprawne (np. uszkodzone), to także nastąpi elekcja SW3 do roli przełącznika głównego (**Root Bridge**) – w tym sensie nic się nie zmienia. Natomiast odpowiednie porty między przełącznikami SW1 i SW3 zostaną zablokowane (wejdą w stan **BLK**) oraz stracą możliwość elekcji do roli portów desygnowanych lub głównych.

Port **Gi0/1** w SW1, wejdzie w rolę portu głównego (**root port**), a port **Gi0/2** w SW2 w rolę portu desygnowanego (**designated port**), co pozwoli ominąć uszkodzone łącze.

W tej sytuacji ramki Ethernet komunikują się poprzez łącza sprawne.



Rysunek 6.10 Topologia z uszkodzonym łączem między SW1 i SW3

Port **Gi0/1** w przełączniku SW3 nie jest wyświetlony, ponieważ został on ustawiony jako zablokowany (**BLK**), więc w chwili obecnej nie należy do drzewa STP.

```
SW3#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
             Address     0001.C918.C0B1
             This bridge is the root
             Hello Time  2 sec   Max Age 20 sec   Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
             Address     0001.C918.C0B1
             Hello Time  2 sec   Max Age 20 sec   Forward Delay 15 sec
             Aging Time  20

Interface    Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1        Desg FWD 19        128.1    P2p
Gi0/2        Desg FWD 4         128.26   P2p
```

Rysunek 6.11 Wynik polecenia `show spanning-tree` na SW3.

6.5 Opis protokołu RSTP

Protokół **RSTP** (ang. *Rapid Spanning Tree Protocol*) to właściwie poprawka wprowadzona do protokołu STP (wg standardu 802.1w). RSTP usprawnia pracę protokołu STP, udostępniając mechanizmy szybkiej konwergencji sieci.

W protokole RSTP zmniejszono liczbę stanów portów, ograniczając je do następujących stanów:

- odrzucania ramek (ang. *discarding*, *blocked*) – BLK,
- uczenia się adresów MAC (ang. *learning*) – LRN,
- przekazywania ramek (ang. *forwarding*) – FWD.

W przeciwieństwie do protokołu STP, w którym to tylko przełącznik główny generował ramki BPDU, to w RSTP **każdy przełącznik przez cały czas generuje ramki BPDU**. Pełnią one rolę kontroli połączenia pomiędzy sąsiednimi przełącznikami. Dzięki temu maksymalny czas potrzebny na wymianę ramek BPDU między przełącznikami został skrócony z 20 do 6 sekund.

6.6 Porównanie działania RSTP i STP

Zasadnicza różnica między protokołami STP i RSTP to czas, po którym sieć w warstwie drugiej modelu ISO/OSI może stać się siecią zbieżną. Jeśli jedno z połączeń ulegnie uszkodzeniu lub topologia sieci niespodziewanie się zmieni, to protokół STP potrzebuje

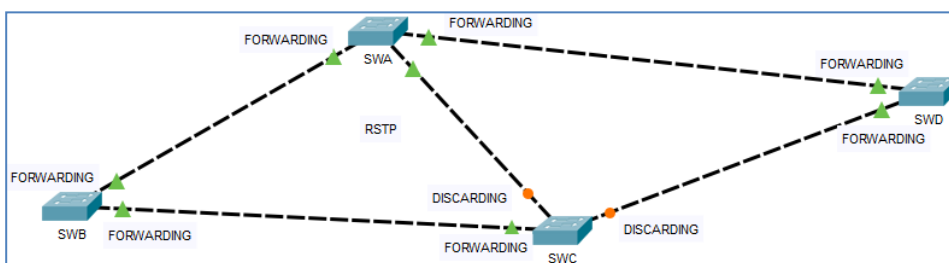
około 30 do 60 sekund na to, aby wykryć awarię i ponownie konfigurować protokół STP. W protokole **RSTP** potrzeba na to zaledwie kilku sekund.

6.6.1 Włączenie protokołu RSTP

Aby włączyć działanie protokołu **RSTP** (czyli uaktywnić rozszerzenie standardu **802.1w**) musimy na każdym przełączniku wykonać polecenia:

```
enable
configure terminal
spanning-tree mode rapid-pvst
```

Po wykonaniu powyższych poleceń w przykładowej topologii możemy zobaczyć, że skutki działania **RSTP** są obserwowane natychmiast.



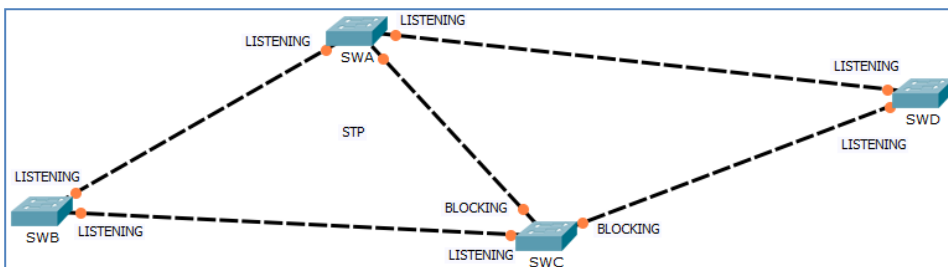
Rysunek 6.12 Stan topologii zaraz po utworzeniu topologii (uruchomieniu protokołu RSTP).

6.6.2 Wyłączenie protokołu RSTP

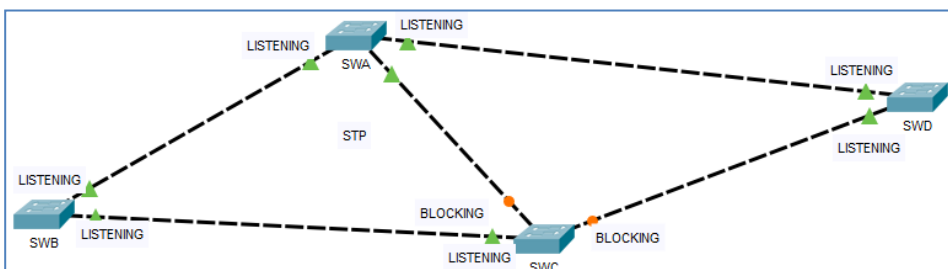
Aby wyłączyć działanie protokołu **RSTP** (czyli przywrócić działanie STP bez rozszerzenia wg standardu **802.1w**), musimy na każdym przełączniku wykonać polecenia:

```
enable
configure terminal
no spanning-tree mode rapid-pvst
```

Po wykonaniu powyższych poleceń w przykładowej topologii możemy zobaczyć, że skutki są dopiero obserwowane po dłuższym czasie.



Rysunek 6.13 Stan topologii w pewnym czasie po utworzeniu topologii (uruchomienie protokołu STP).



Rysunek 6.14 Stan topologii po odczekaniu kilku sekund (uruchomienie protokołu STP).

Wniosek: stany topologii w obu przypadkach (STP i RSTP) są te same, ale zaletą RTSP jest to, że protokół RSTP wykonuje się szybciej.