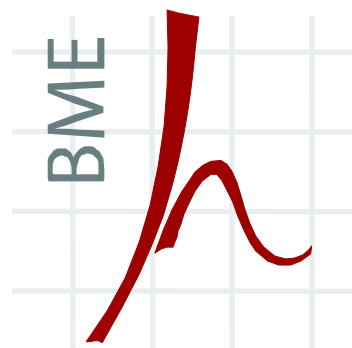


Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamosmérnöki szak, mesterképzés - Újgenerációs hálózatok szakirány  
Hálózatok fejlesztése és tervezése mellékszakirány, kötelezően választható tárgy



# BMEVIHIM354 Hálózattervezés

## 6. Aggregációs hálózatok tervezése

*Fazekas Péter, Jakab Tivadar  
Híradástechnikai tanszék*

# Aggregációs hálózatok

---

- **Hozzáférési hálózatok hálózati oldalának csatlakoztatása**
  - PSTN: telefonközpont, DSL: DSLAM, PON: ONT, DOCSIS:CMTS, mobil: bázisállomás
- **Fő funkció**
  - forgalmak összegyűjtése (aggregálása)
  - az esetek jelentős részében redundáns csatlakoztatás
- **Forgalmi szerkezet**
  - attól függ, hogy a milyen forgalomlebonyolító (kapcsolási) képessége van az előfizetőt csatlakoztató eszköznek
- **Topológia**
  - a redundanciából következően gyűrű vagy szövevény

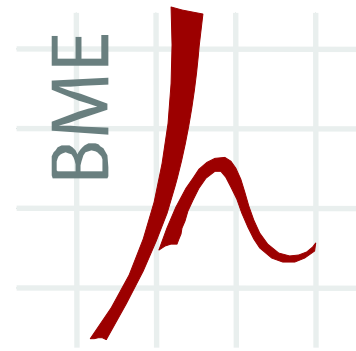
# Aggregációs hálózatok

- **Tipikus tervezési problémák**

- technológiaválasztás (nyújtandó szolgáltatások alapján) TDM vagy csomagalapú
- kábelhálózat (topológia, kapacitás) tervezése
  - redundanciamentes (fa) – pl. GPON alapú aggregálás esetén
  - redundáns
    - gyűrűs – pl. SDH vagy Ethernet alapú gyűrűk esetén
    - szövevény – pl. kapcsolt Ethernet alapú aggregáció esetén
- logikai topológia (fa, gyűrű, szövevény) tervezése
- berendezés- és linkméretezés
- konfigurálás (kapacitásigények kiszolgálásának módja – utak, védelem)

- **Tervezési vonatkozások**

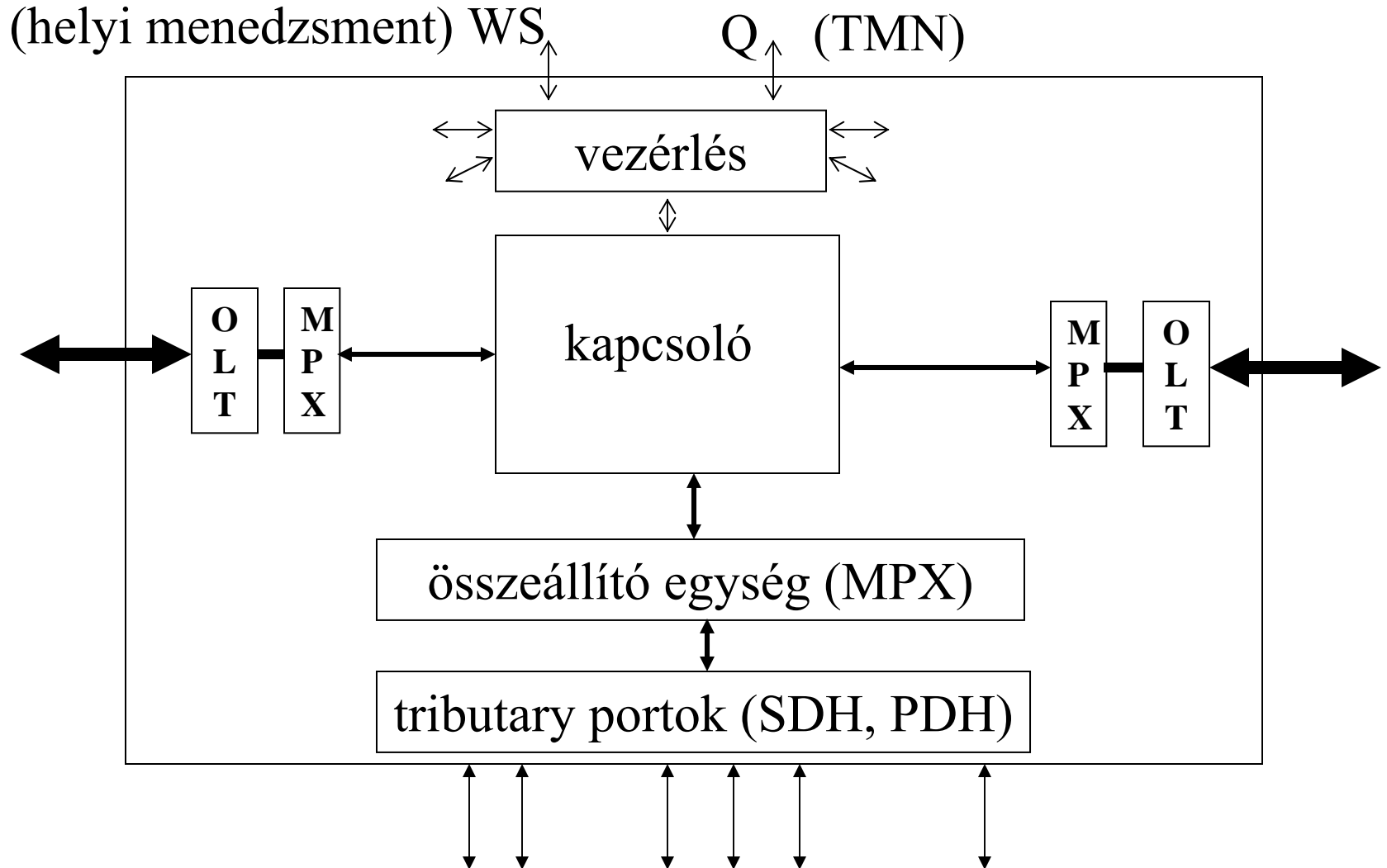
- a továbbiakban gyűrűs topológia alapú megoldások (gyűrűméretezés és konfigurálás)
- a fa topológia alapú megoldások az aggregációs hálózatok tervezése során ismertett PON tervezéshez hasonló (kevesebb „felhasználó”, nagyobb kapacitásigények és távolságok, lehetséges kábeltopológia az építési lehetőségek – földkábelek utak nyomvonala mellett, légekábelek pl. közepfeszültségű vezetékoszlopokon - által meghatározott)
- szövevényes topológia alapú megoldások – analógiák alapján – a gerinchálózati tervezési problémák ismertetése során



Egy egyszerű példa: SDH gyűrű

- **adott**
  - gyűrűvel összekapcsolandó csomópontok
  - a csomópontok közötti átviteli igények
  - SDH rendszertechnika
    - gyűrűrendszer kapacitása
    - ADM kapacitásadatok
      - tributary
      - lokális cross-connect
- **célfüggvény: erőforrásigény (optikai szálpár, berendezés), költség, minőség (rendelkezésre állás)**

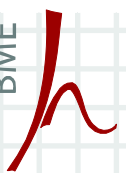
# Leágazó multiplexer szerkezete



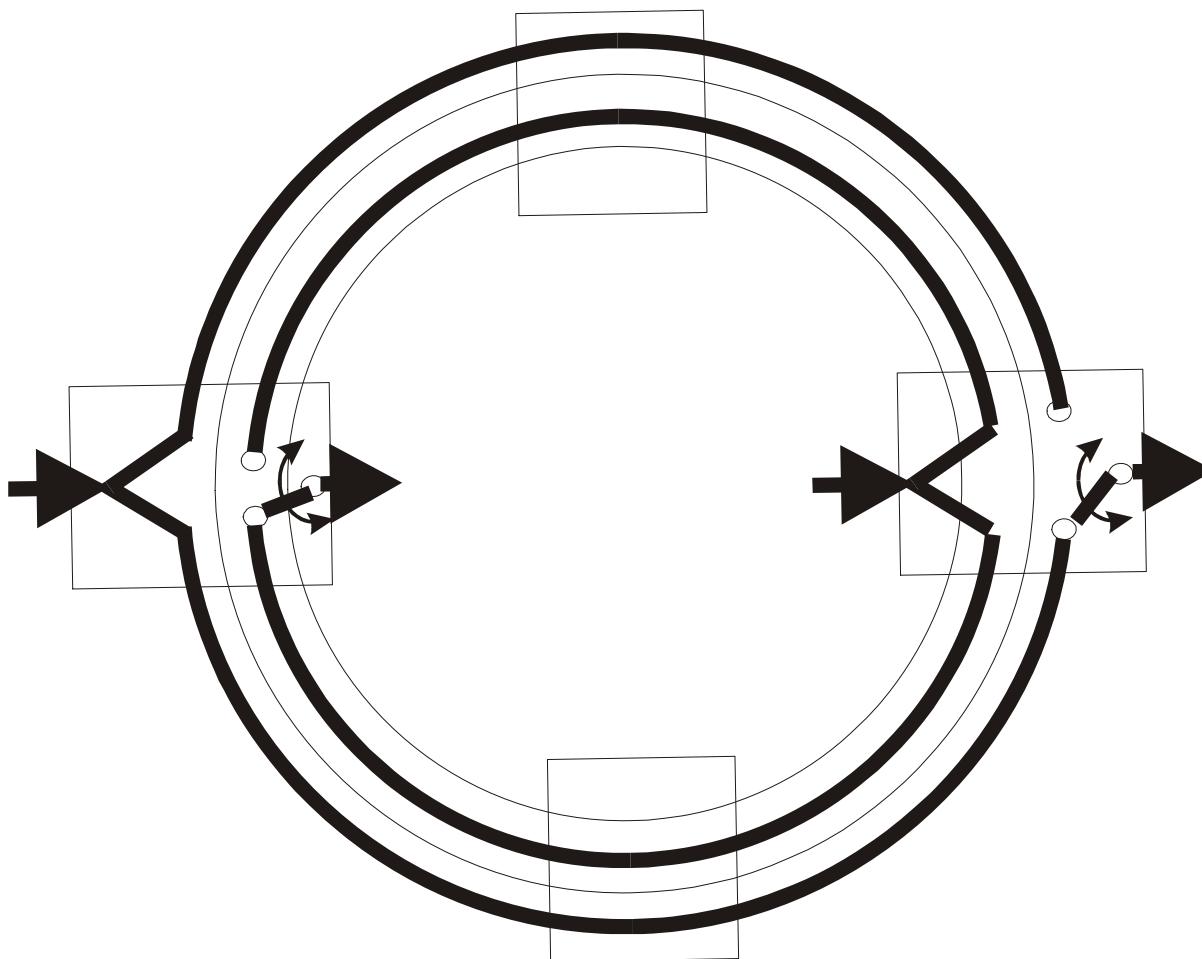
# Gyűrűk

---

- homogén csomóponti struktúra (közel azonos berendezés minden csomópontban)
- alapesetben a gyűrűkapacitást a legnagyobb kapacitású gyűrűszakasz határozza meg

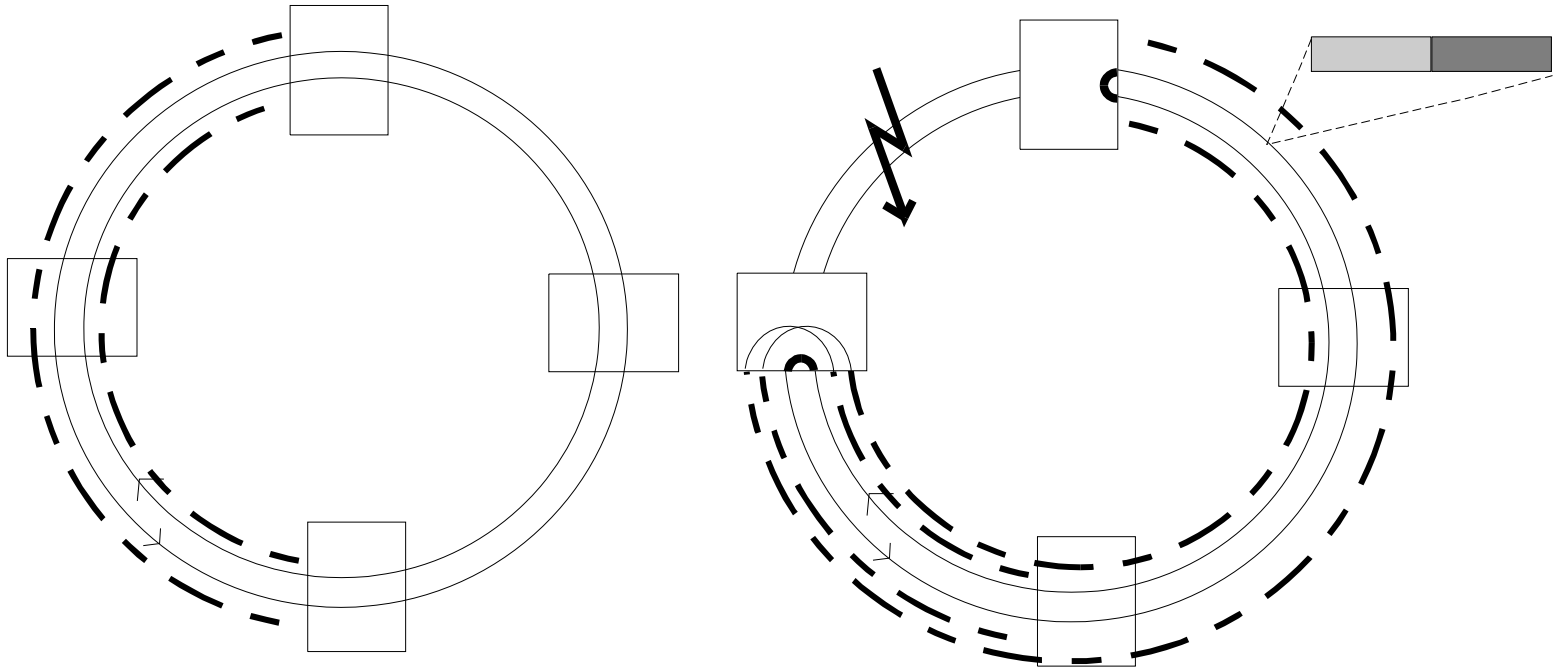


# SNCP gyűrű: 1+1 VC12 útvédelem STM4-es gyűrűn





# MSSP kétirányú gyűrű két szálon STM-16/STM-1



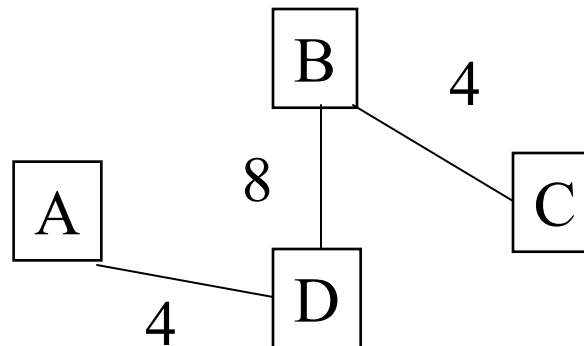
a, üzemi eset

b, védelmi eset

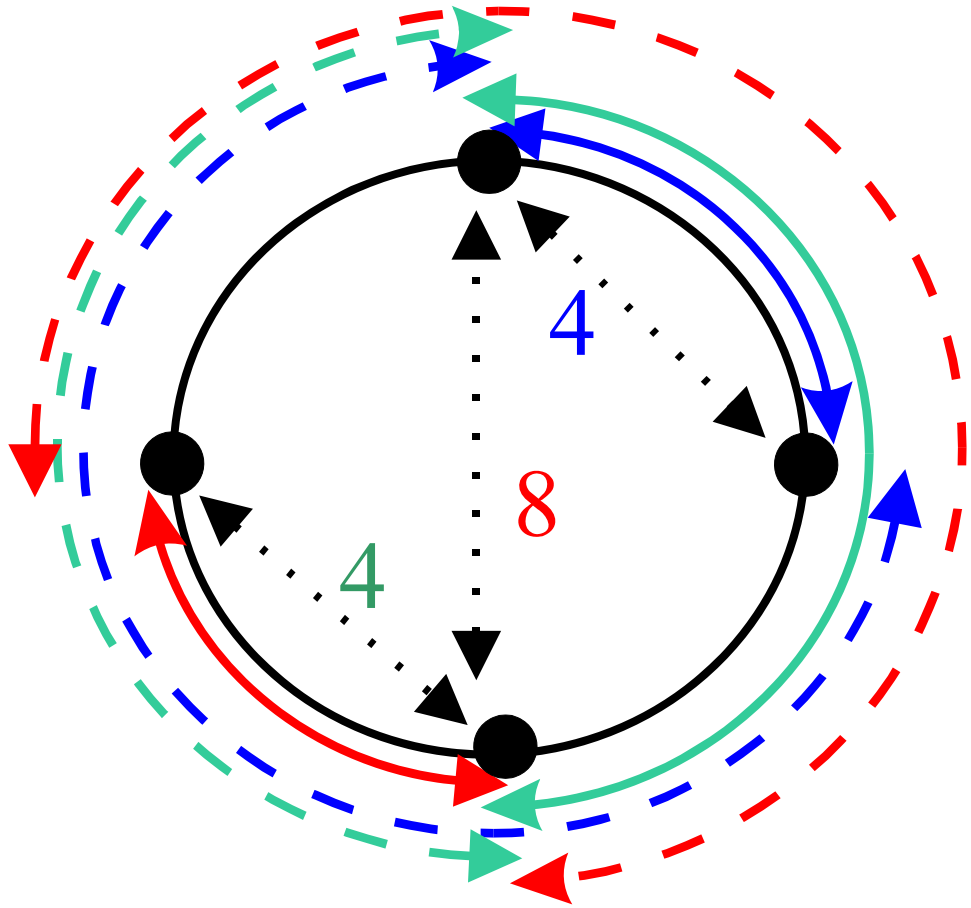
- a gyűrűkapacitás üzemi része
- a gyűrűkapacitás védelmi része
- - üzemi kapacitásban haladó igény
- · védelmi kapacitásban haladó igény
- gyűrű

# 1. példa

- 4 csomópont
- kétszálú STM-16-os gyűrű
- STM-1-es igényegység
- három pont-pont kapacitásigény:



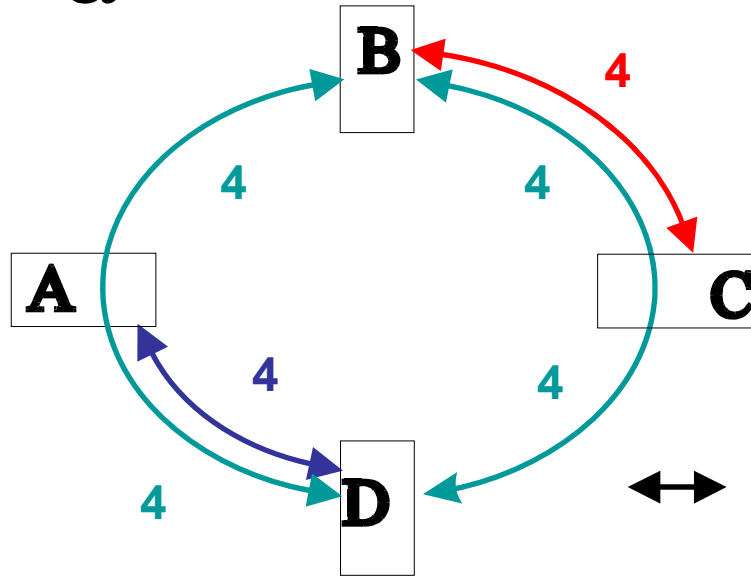
# 1. példa: megoldás SNCP gyűrűvel



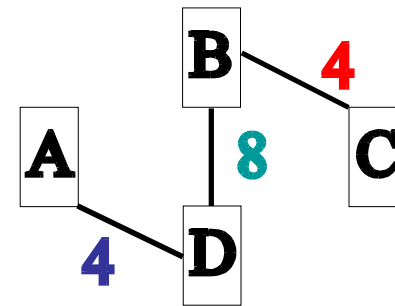
- ◀ . . . igények
- ◀ — üzemi út
- ◀ - - - védelmi út (útvédelem)

# 1. példa: megoldás MSSP gyűrűvel

**MSSP gyűrű**



**Átviteli igények**



↔ Üzemi utak

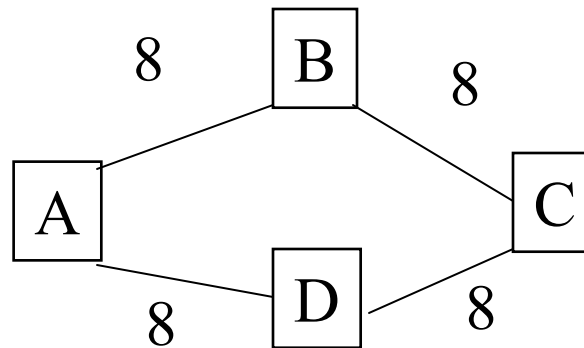
# 1. példa: értékelés

---

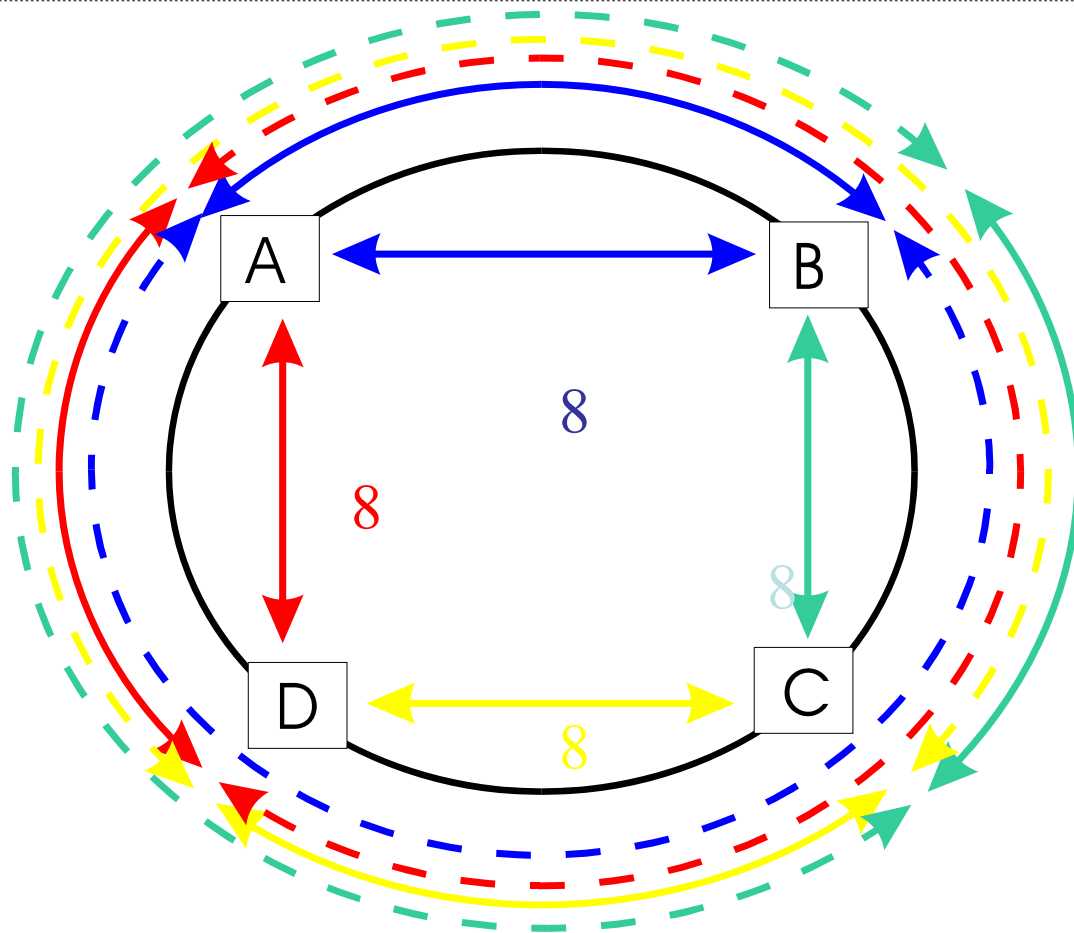
- az adott igényminta mellett a szükséges gyűrűrendszer mérete azonos (1 STM-16-os gyűrű)
- igénymegosztás (két nyaláb)

## 2. példa

- 4 csomópont
- 2 szálás STM-16-os gyűrű
- STM-1-es igényegység
- négy pont-pont kapacitásigény:

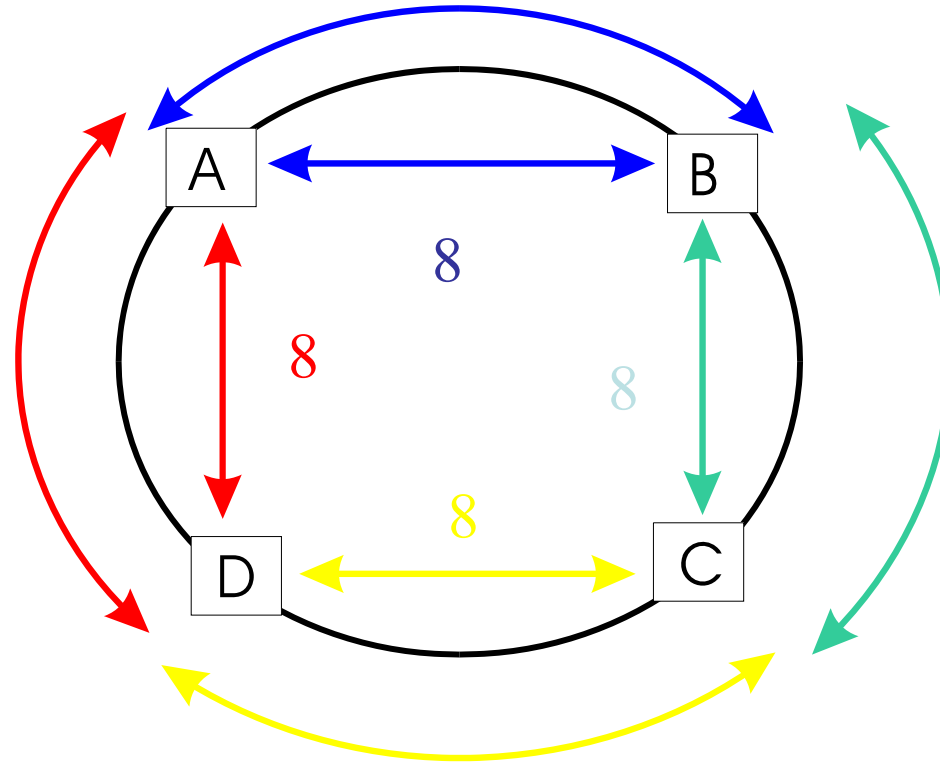


## 2. példa: megoldás SNCP gyűrűvel



←→ üzemi elvezetés  
 ←--→ védelmi elvezetés

# 2. példa: megoldás MSSP gyűrűvel



$\longleftrightarrow$  üzemi elvezetés  
 $\longleftrightarrow$  védelmi elvezetés



## 2. példa: értékelés

---

- az adott igényminta mellett a szükséges gyűrűrendszer mérete azonos, de
  - SNCP gyűrű esetén 2 STM-16-os gyűrű, gyűrűnként 3 csomóponttal (két optikai szálpár, 6 db ADM)
  - MSSP gyűrű esetén 1 STM-16-os gyűrű (egy optikai szálpár, 4 db ADM)
- **MSSP: csatorna-újrafelhasználás**

# Gyűrűk – finomabb modell

---

- **adott**
  - gyűrűvel összekapcsolandó csomópontok
  - a csomópontok közötti átviteli igények
  - SDH rendszertechnika
    - gyűrűrendszer kapacitása
    - ADM kapacitásadatok
      - tributary
      - lokális cross-connect

# Gyűrűméretezési példák (folyt.)

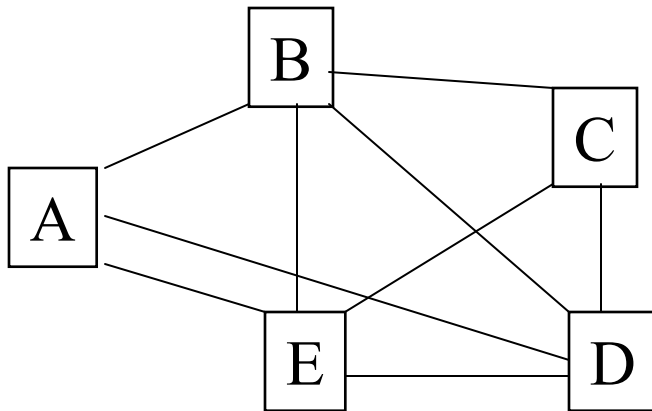
---

- 3. példa:
  - csomóponti funkció méretezési hatása
- 4. példa:
  - többszörös kapacitású gyűrűk
- 5. példa:
  - tranzitáló gyűrű telítődése

# 3. példa

---

- 5 csomópont
- kétszálás STM-16-os gyűrű
- 2 Mbps (VC-12-es) igényegység
- kilenc pont-pont kapacitásigény
  - teljes 5-gráf kivéve A-C

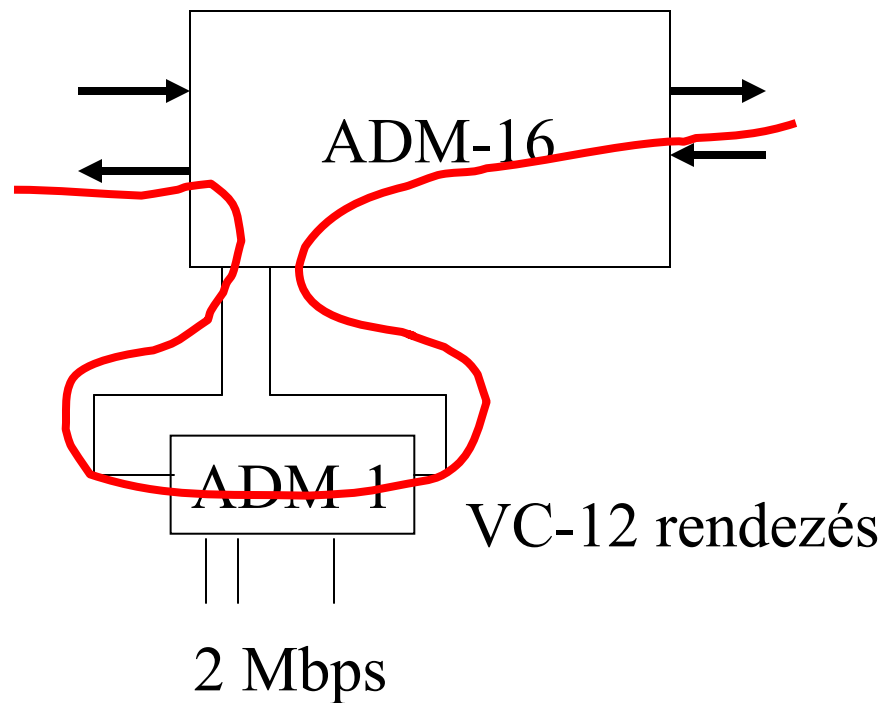
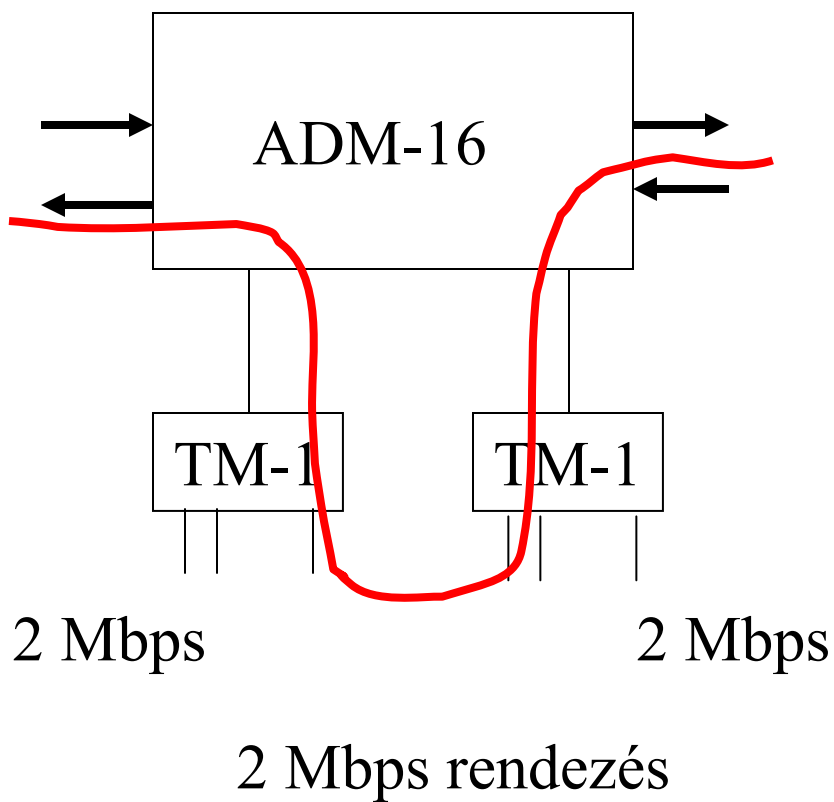


# 3. példa

---

- **STM-16-os ADM funkciói**
  - csak VC4 szintű lokális rendezés
  - csak STM-1 szintű összetevő oldali (tributary) csatlakozások

# 3. példa



# 3. példa

---

- **védelem**
  - MSSP
    - 8 üzemi STM-1 kapacitás - 9 vp-vp STM-1 nyaláb
  - SNCP (VC-12 1+1)
    - ADM-1 vagy ADM-4 vagy DXC 4/1 szükséges

## 3. példa

---

- **következmény**
  - alapesetben végponttól végpontig STM-1-es nyalábok alkalmazhatók
  - jobb nyalábkitöltéshez (VC-12 szintű rendezéshez) kiegészítő berendezés szükséges



## 3. példa: értékelés

---

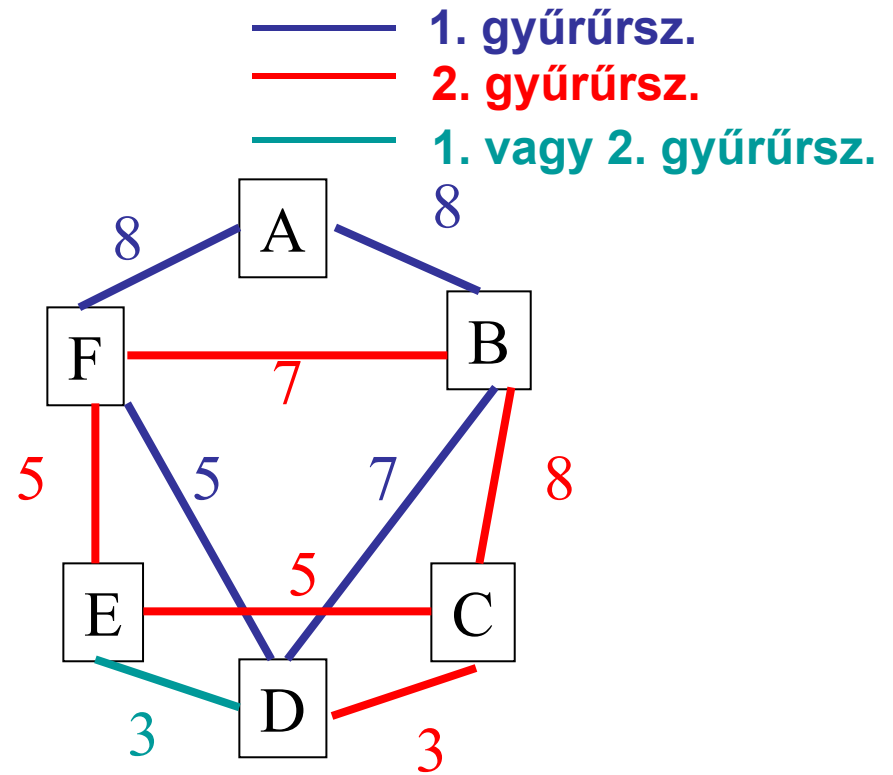
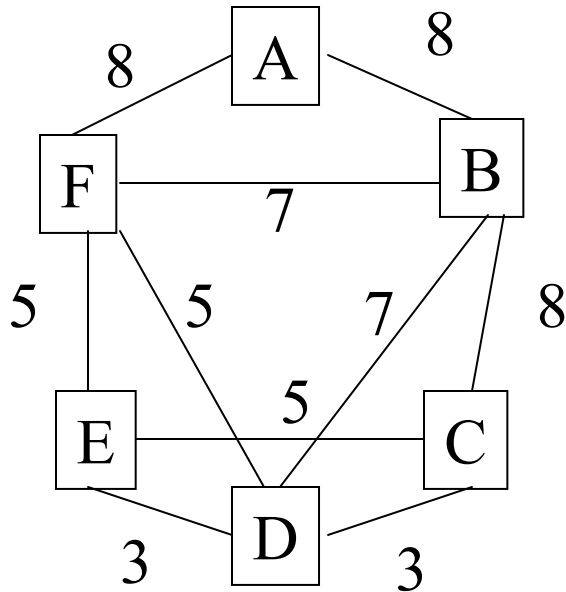
- az adott igényminta mellett az szükséges gyűrűrendszer mérete azonos (1 STM-16-os gyűrű)
- igénymegosztás (két nyaláb)

# 4. példa

---

- 6 csomópont
- kétszálás STM-16-os MSSP gyűrű
- STM-1-es igényegység
- tíz pont-pont kapacitásigény

# 4. példa



- két gyűrűrendszer szükséges, igényszeparálás
- berendezésszám szempontjából kedvezőbb, ha (DE) is a 2. gyűrűben

## 4. példa

---

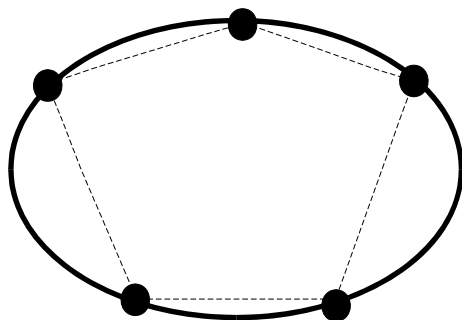
- alapprobléma: mely csomópontokhoz mely gyűrűrendszerekben rendeljük ADM-et
- igényszeparálás
  - igények osztatlanul/osztottan
  - igény/igényrész végpontjai azonos gyűrűben/különböző gyűrűkben

# Gyűrűméretezés összefoglalás

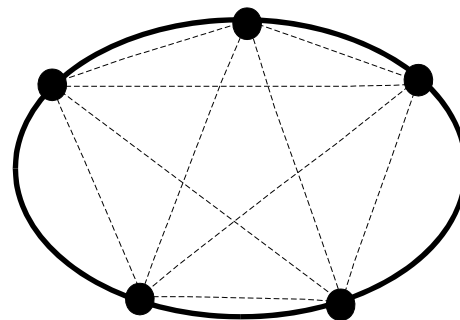
---

- SNCP és MSSP gyűrűk eltérő méretezési szabályok
- csomóponti funkciók hatása (rendezés)
- igényminta hatása eltérő a két gyűrűtípusra
- nagy igényminták, többszörös gyűrűk

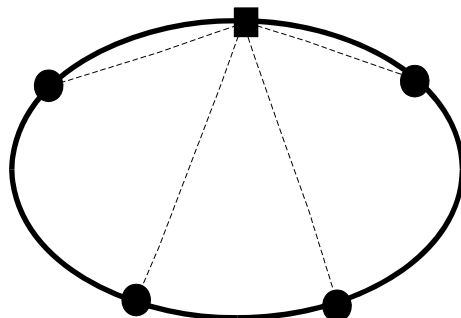
# Tipikus igényminták



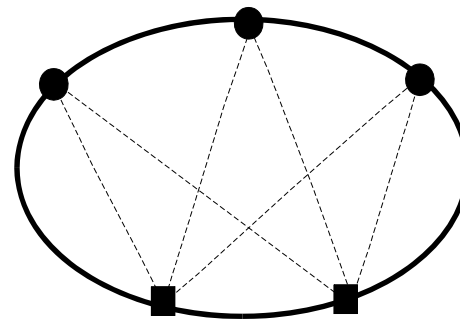
körkörös



szövevény



1 HUB-os gyűrű  
(központosított)



2 HUB-os gyűrű

# Lineáris programozási módszerek alkalmazása gyűrűtervezésben

# Célkitűzés, tartalom

---

- LP módszerek alkalmazhatóságának lehetőségei és korlátai
- általános séma optimalizálási problémák LP alapú megoldásához
- LP módszerek általános alkalmazási megközelítése
- egy gyűrűtervezési mintapélda



- formalizálás
- megoldás szimplex algoritmussal
- megoldásra kommersz szoftverek
  - legjobbnak tartott ILOG CPLEX
  - szabadon hozzáférhető LP Solve
- méret és teljesítménykorlátok

# LP problémaformalizálás

---

- a műszaki probléma azonosítása, elemzése
- a megoldást leíró információk meghatározása
- a megoldás leírásához szükséges változók specifikálása
- a megengedett megoldásokat rögzítő feltételek megfogalmazása
- a optimális megoldást meghatározó célfüggvény kialakítása (ehhez további segédváltozók is szükségesek lehetnek)

---

# Többszörös 1+1 útvédett gyűrű konfigurálása

# A műszaki alaprobléma

---

- egy gyűrűrendszer kapacitását meghaladó nagyságú igényminta
- melyik csomópontot melyik gyűrűrendszerben nyissuk meg

# A probléma jellege

---

- részletes méretezés és konfigurálás
- új erőforrások telepítése
- szeparálási probléma - mely igényeket mely gyűrűrendszerben

# Egyszerűsítő feltételek

---

- nincs átjárás a gyűrűk között
- az egyes igényeket egy nyalábban (osztatlanul) kell megvalósítani

# Adott

---

- csomópontok
- igényminta
- csomópontsorrend (1+1 gyűrű miatt gyakorlatilag indifferens)

# Keressük

---

- a szükséges gyűrűrendszerek számát
- az egyes gyűrűk konfigurációját (mely csomópontok mely igényei)



# Feladatkitűzés (jelölések)

---

- A probléma ábrázolható egy  $G = (V, E)$  gráfként  $n = |V|$   $m = |E|$
- $V$  - csomópontok halmaza
- $E$  - igények halmaza
- $n$  - csomópontok száma
- $m$  - igények száma
- $C$  a gyűrű kapacitása

- Változók:
- ha van ADM az  $i$ -edik csomópontban a  $k$ -adik gyűrűben, különben 0

$$x_i^k = 1$$

- ha  $e$  igény a  $k$ -adik gyűrűben van elevezetve, különben 0
- célfüggvény:

$$y_e^k = 1$$

$$z = \min \sum_{k=1}^K \sum_{i \in V} x_i^k$$

# Feltételek

---

- egy igény egy gyűrűben:  $\sum_{k=1}^K y_e^k = 1$  az  $e \in E$  élekre

- ha az igény a gyűrűben akkor ADM is:

$$y_e^k \leq x_i^k, y_e^k \leq x_j^k \text{ az } e = (i, j) \in E, k = 1, \dots, K$$

- a gyűrűkapacitás korlátozza az igények mennyiségét:

$$\sum_{e \in E} d_e y_e^k \leq C \text{ a } k = 1, \dots, K \text{ -ra}$$

- minden változó bináris:

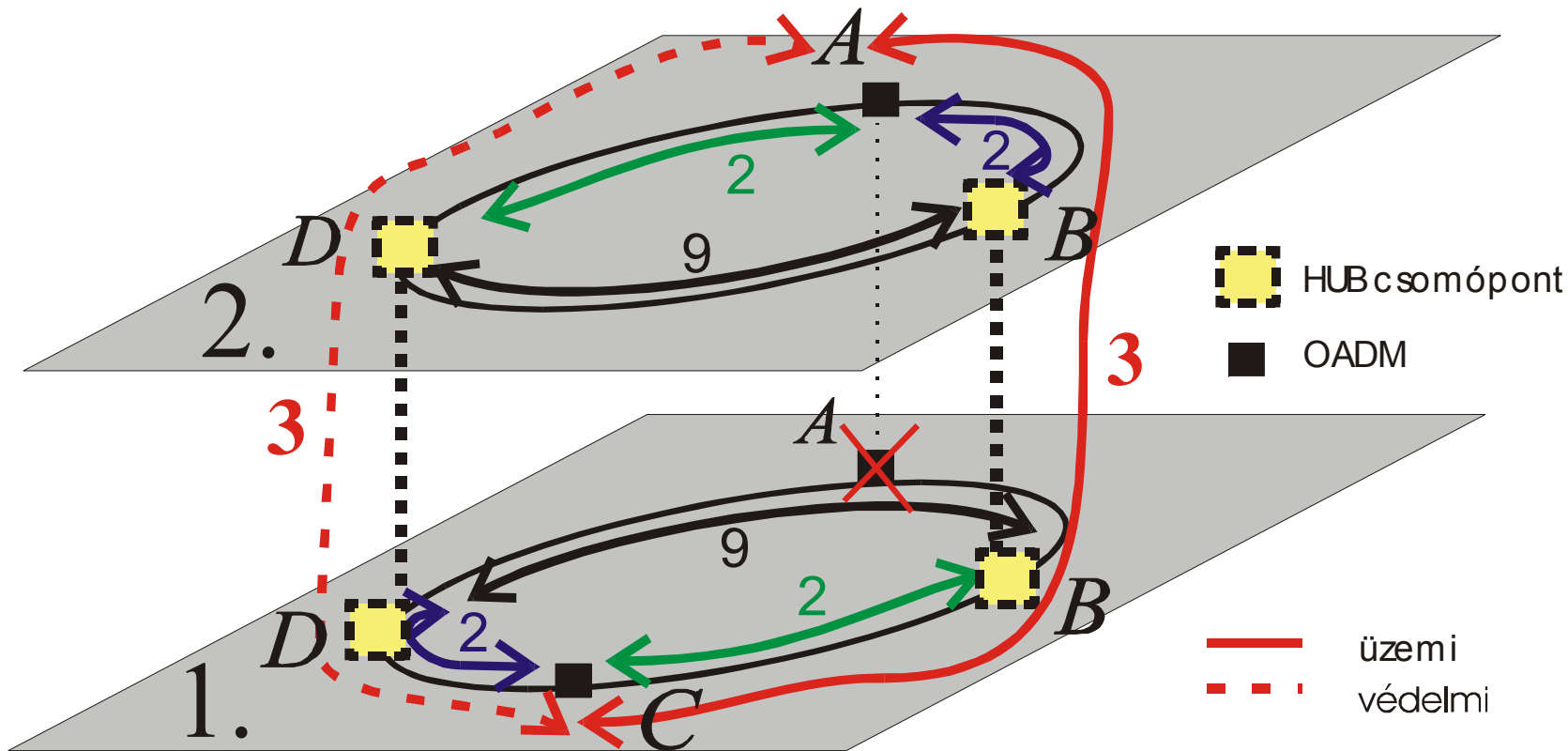
$$y_e^k, x_i^k \in \{0, 1\} \text{ } e \in E, i \in V, k = 1, \dots, K$$

# Kiterjesztések

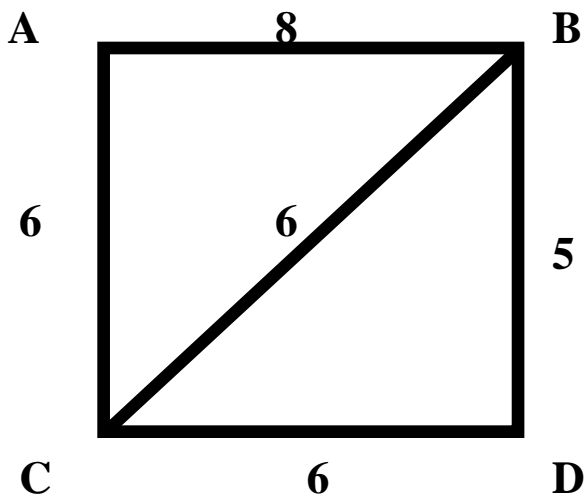
---

- Igény több részben, több gyűrűben (de ahol indul ott is végződik)
  - egységnyi igények - méret
- ADM-ek finomabb konfigurálása
  - hasonló modell (algyűrűk) - bonyolultabb feltételek
- Átjárás gyűrűk között
  - hasonló modell (HUB pontok, félgyűrűk) - bonyolultabb feltételek

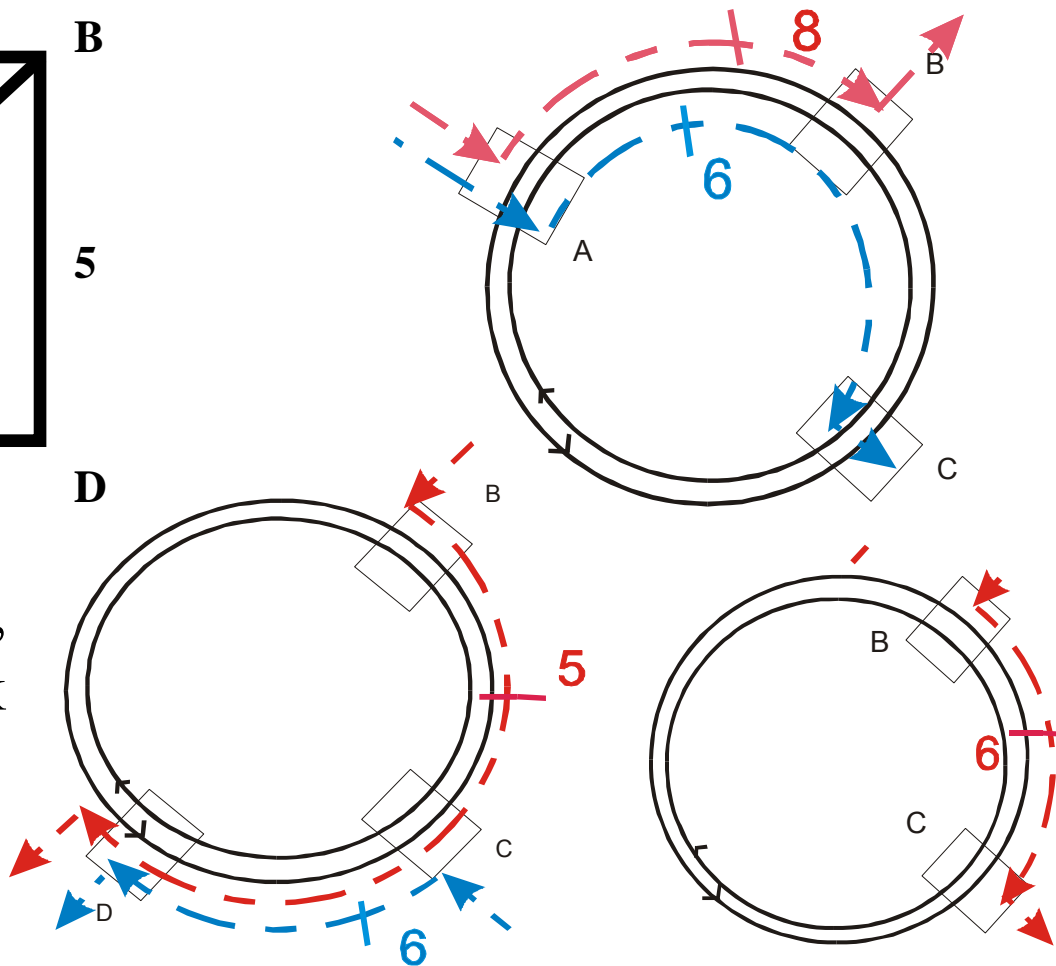
# Átjárás gyűrűk között



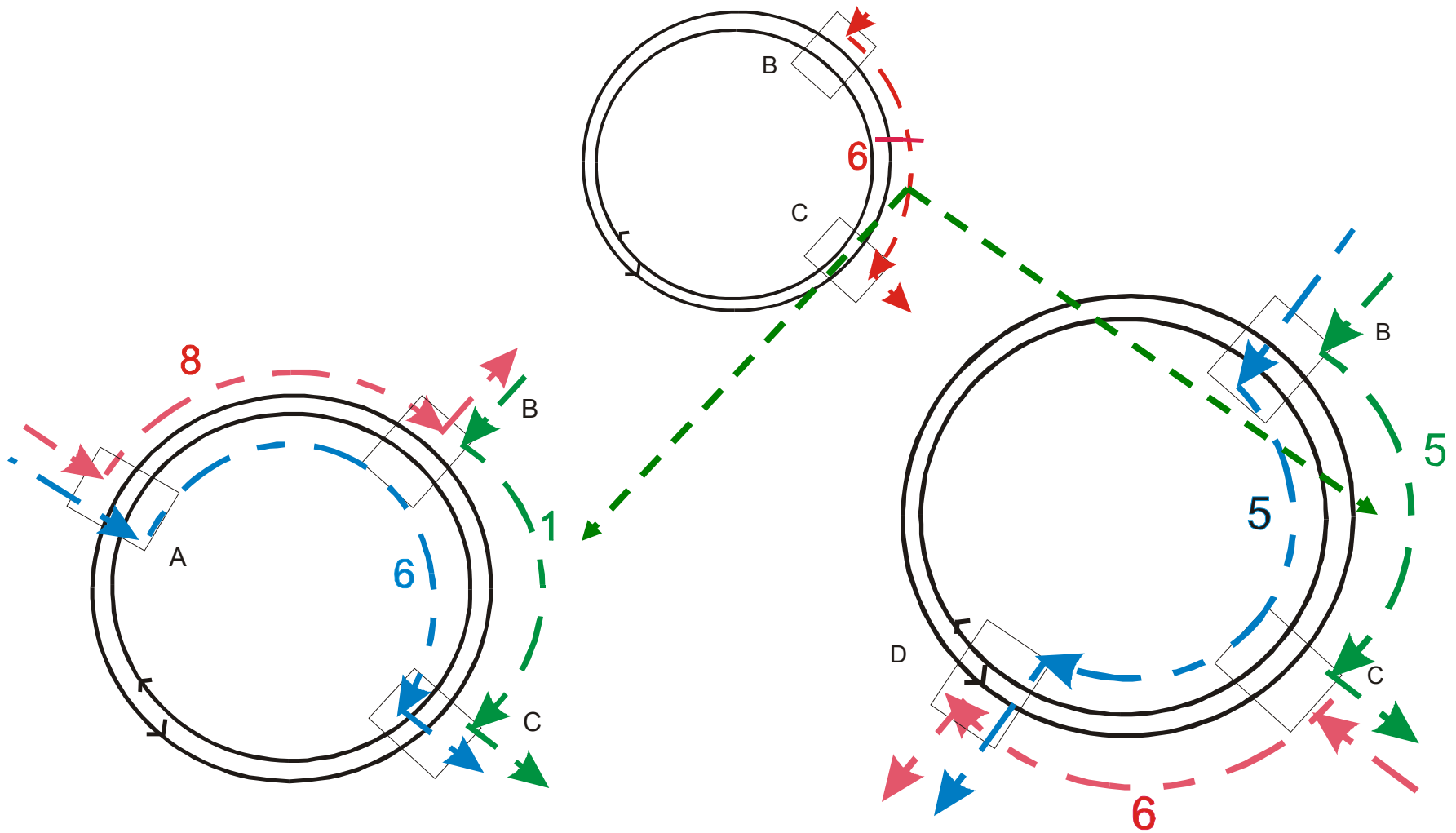
# Egy mintapélda: alapeset



STM-1-es igények,  
STM-16-os gyűrűk



# Egy mintapélda: hasítás



- **Hasítás nélkül:**
  - 3 gyűrűs szerkezet
    - gyűrűnként kb. 100 változó, 170 feltétel, < 1 min futási idő
  - 4 gyűrűs szerkezet
    - gyűrűnként kb. 50 változó, 70 feltétel, < 1 min futási idő
  - 5 gyűrűs szerkezet
    - gyűrűnként kb. 25 változó, 50 feltétel, < 1 min futási idő



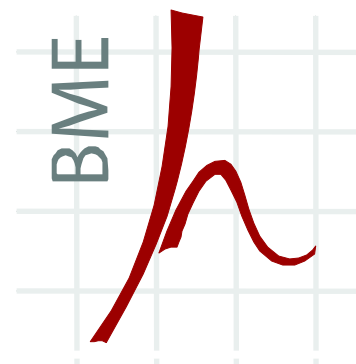
- **Hasítással:**

- 3 gyűrűs szerkezet
  - gyűrűnként kb. 620 változó, 1300 !! feltétel, 1,5 nap futási idő
- 4 gyűrűs szerkezet
  - gyűrűnként kb. 200 változó, 440 feltétel, < 1 min futási idő
- 5 gyűrűs szerkezet
  - gyűrűnként kb. 150 változó, 330 feltétel, < 1 min futási idő
  - kivéve egy gyűrű 220 változó, 500 feltétel, 30 min futási idő

# Gyűrűkonfigurálás - Összefoglalás

---

- LP formalizálás
- kiinduló korlátozások fokozatosan oldhatók
  - igények megosztása
  - gyűrűk közötti átlépés
- LP megoldás a gyakorlatban korlátozottan alkalmazható
  - pl. beágyazott megoldásként
  - heurisztikus megoldások minősítésére



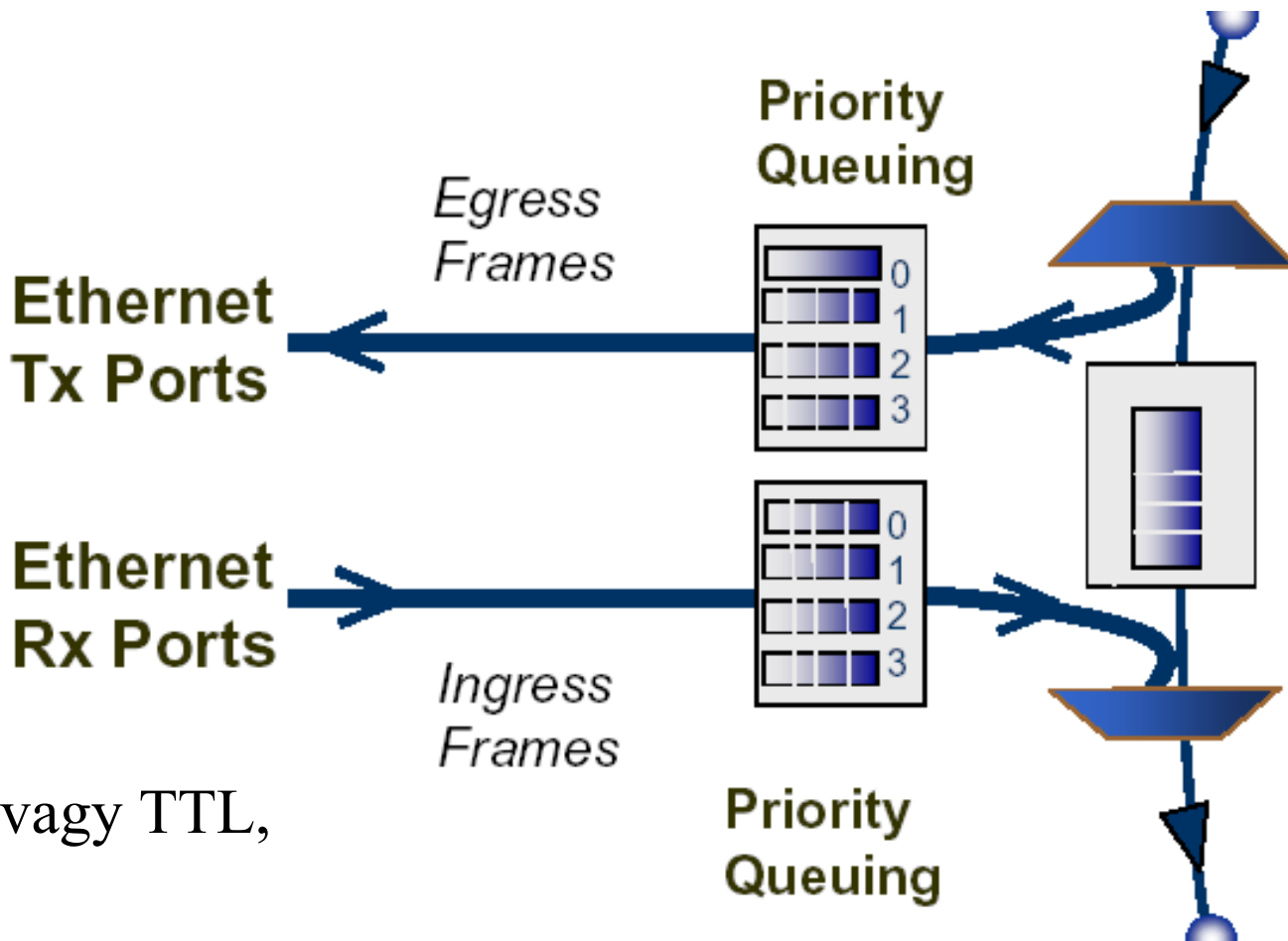
Egy összetettebb példa: csomag  
alapú gyűrű

# Csomagkapcsolt gyűrű

---

- Működés áttekintése Resilient Packet Ring architektúra és működése alapján (gyakorlati alkalmazásokban nem terjed el, de a csomag alapú gyűrű „prototípusának” tekinthető)
- MAC cím alapú gyors csomagtovábbítás:
  - csak három művelet:
    - kivesz
    - betesz
    - továbbküld
- **Automatikus topológia-felderítés**
  - periodikus üzenetküldés (*topology message*)
  - minden csp. hozzákapcsolja a saját MAC címét, és továbbküldi
  - a forrás visszakap egy címlistát
  - elsődleges és másodlagos utak
  - ARP az IP-MAC címillesztéshez

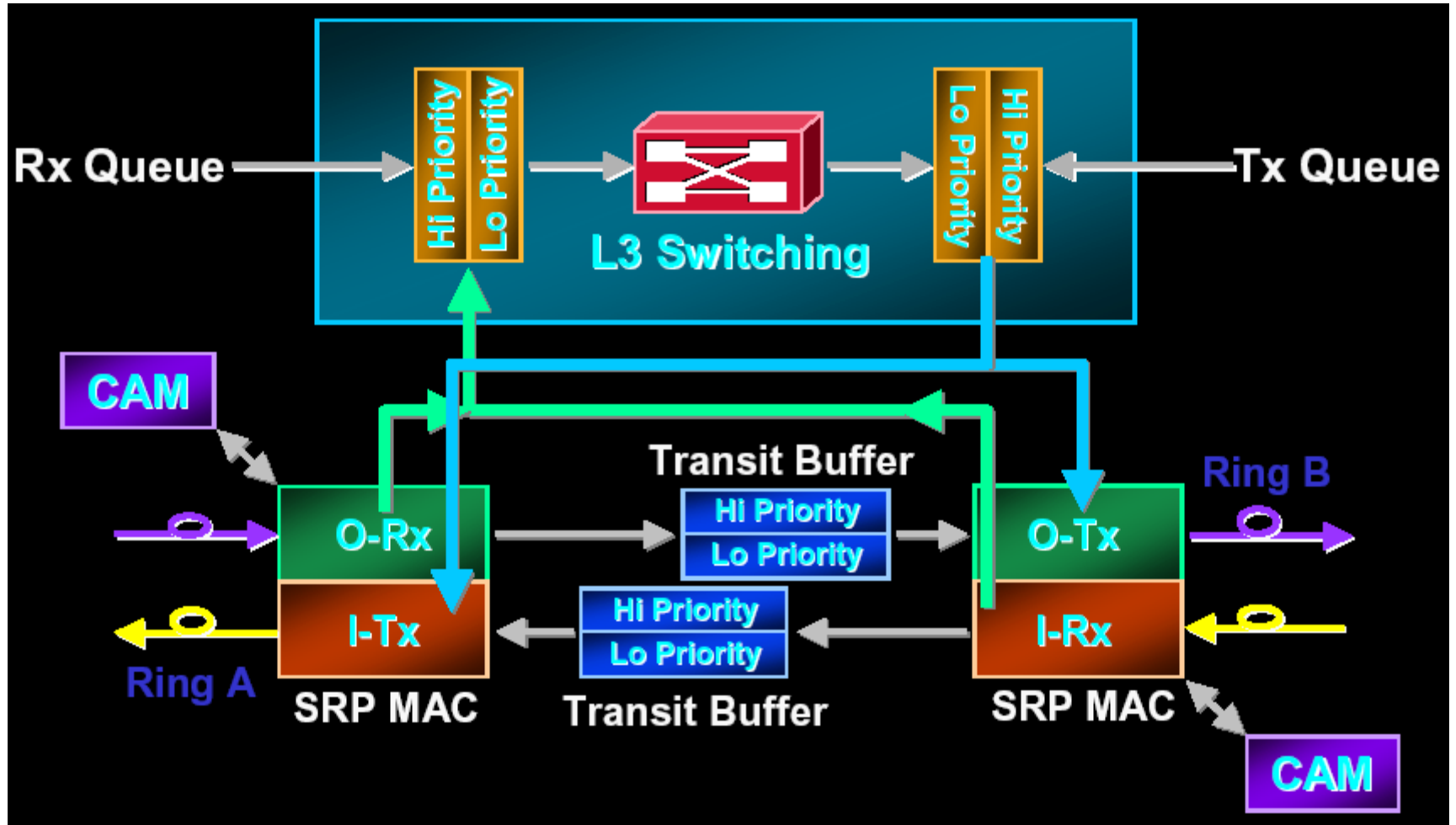
# Egy csomópont



Műveletek:

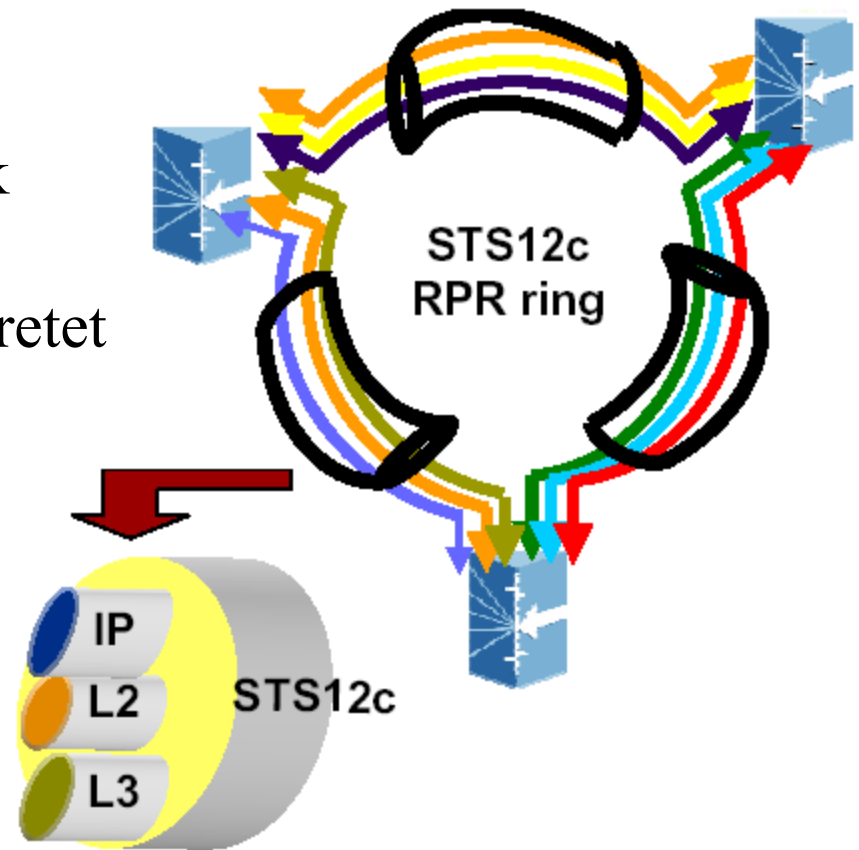
- kivesz :cím vagy TTL,
- betesz,
- továbbít

# Egy csomópont



# Sáv szélesség újrafelhasználás

- Forgalmak 80%-a a nagyvárosi hálózaton belül marad
- Sáv szélesség felhasználása csak a bejárt szegmensben
- A nyelő eltávolítja az összes keretet
- Dinamikus, csomag szintű újrafelhasználás
- Statisztikus nyereség
- Megnövekedett kihasználtság



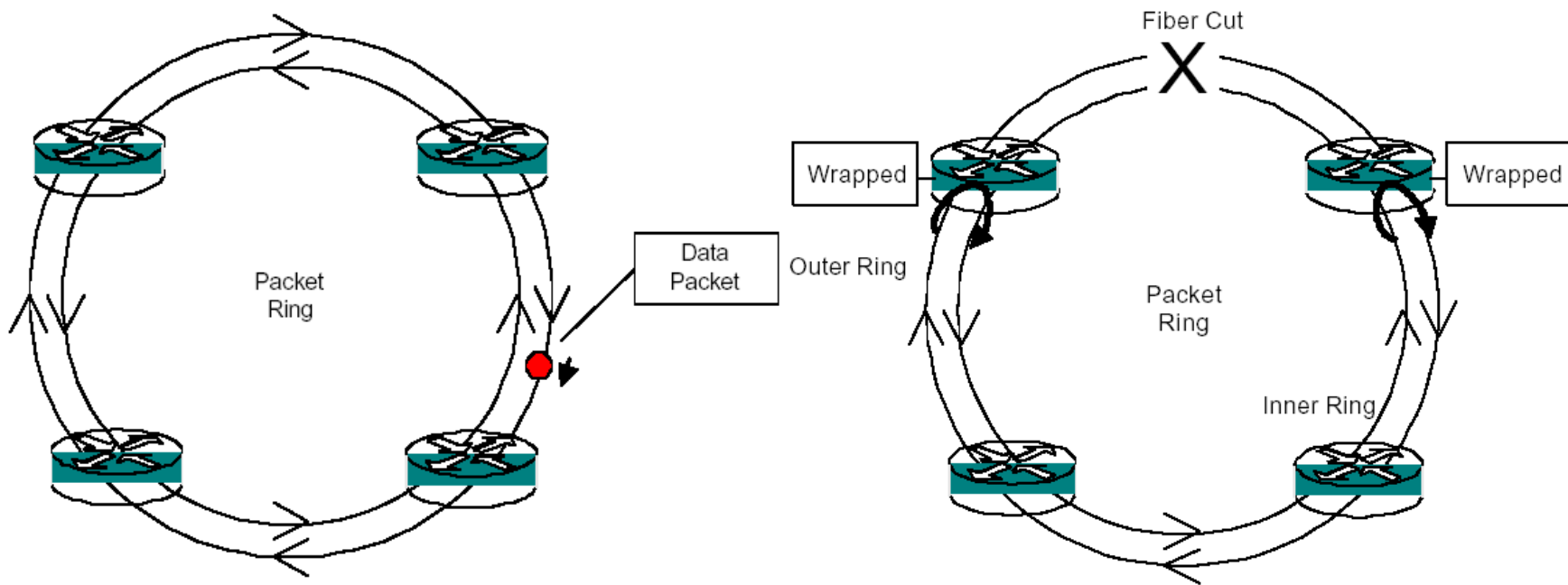
# Védelmi képességek

---

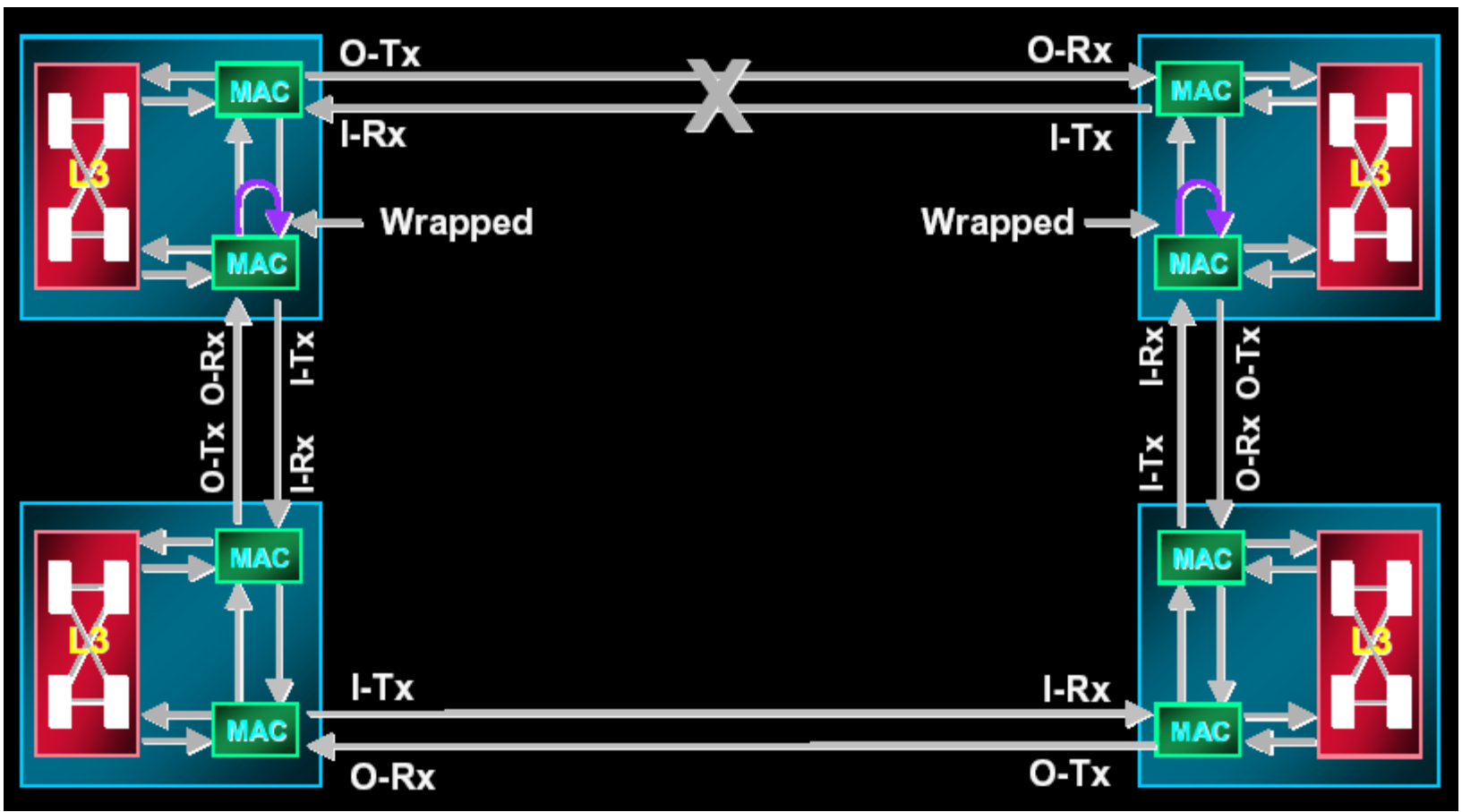
- Gyors védelmi mechanizmus
- Nincs dedikált védelmi sáv szélesség
- Teljes sáv szélesség kihasználható normál működés mellett.
- Csomóponthibák és kábelhibák ellen is véd.
- Best-effort forgalom degradálódhat.



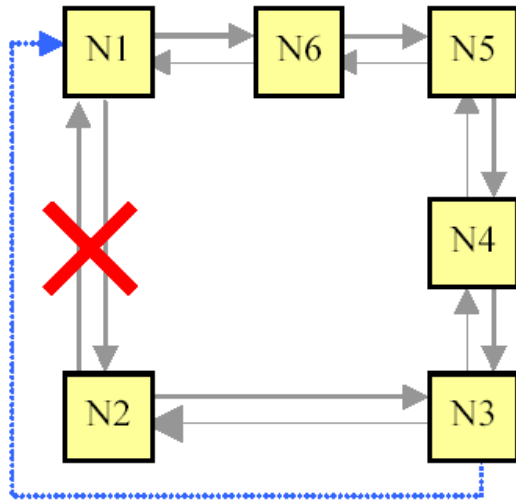
# Védett kétirányú gyűrű



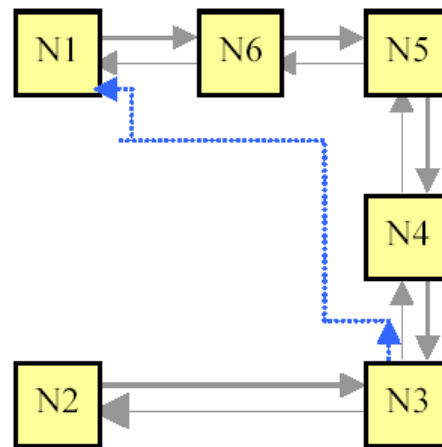
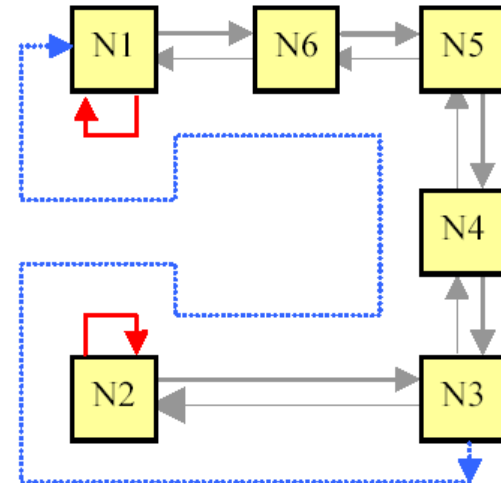
# Védett kétirányú gyűrű



# Védelmi mechanizmus



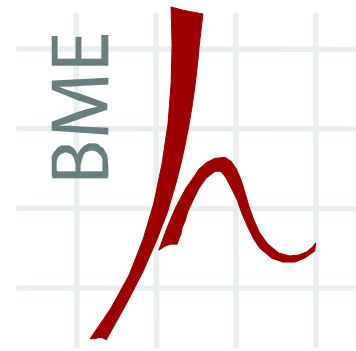
Védelmi átkapcsolás: visszahurkolás



Helyreállítás: másodlagos út

# Ethernet alapú aggregációs gyűrű méretezése

- **Adottak**
  - gyűrűpontok (berendezések potenciális helyei)
  - gyűrűpontok közti biztosítandó sávszélesség-igények (egyszerűsített modell, additív metrika)
  - szolgáltatási osztályok (nem védett, védett, utóbbi védelmi séma)
  - kapacitáskorlátok
    - csomópont (berendezés): összetevő (tributary) és összetett (aggregate) oldali kiépíthetőség, kezelt kapcsolatok maximális száma (induló/végződő és tranzit együttesen)
    - link: sávszélesség
  - gyűrűpontok közti hordozók (optikai szálpár vagy csatorna)
    - száma (ez maximálja a megvalósítható gyűrűrendszerek számát)
    - csomópontok felfűzési sorrendje
- **Meghatározandó a gyűrűkonfiguráció**
  - hány gyűrűrendszer szükséges
  - mely csomópontokban melyik gyűrűrendszer hozzáférhető
  - csomóponti berendezések konfigurációja
  - melyik sávszélesség-igény melyik gyűrűrendszeren, milyen úton van kiszolgálva
- **Az architekturális hasonlóságok és az additív sávszélesség-metrika miatt erős analógiák az SDH gyűrűkonfigurálással**



# Kiegészítés: védelmi alapok

# Hálózatvédelmi alapfogalmak (2/1)

---

- meghibásodások (független, összefüggő)
- hibahatások
  - degradáció
  - kiesés
  - katasztrofális hibák
- redundancia szükséges a hibahatások csökkentésére

- strukturális redundancia, többletkapacitások
- többletköltség (beruházás, üzemeltetés)
- mikor mi éri meg? (fontosság, megfizethetőség)
- a támogatott szolgáltatás védelmi specifikációja alapján kiválasztott megoldások

- **Általános**
  - architektúrák
  - szolgáltatások
  - hálózati szegmensek
- **Technológiai vonatkozások**
- **Több technológiai rétegből álló hálózatok**



# Védelem és helyreállítás

(ITU G. 803 alapján)

---

- **védelem**
  - előzetesen hálózatelemekhez rendelt tartalék-kapacitások a meghibásodott elemek helyettesítésére
- **helyreállítás**
  - rendelkezésre álló többletkapacitások dinamikus felhasználása a hibaállapotok függvényében

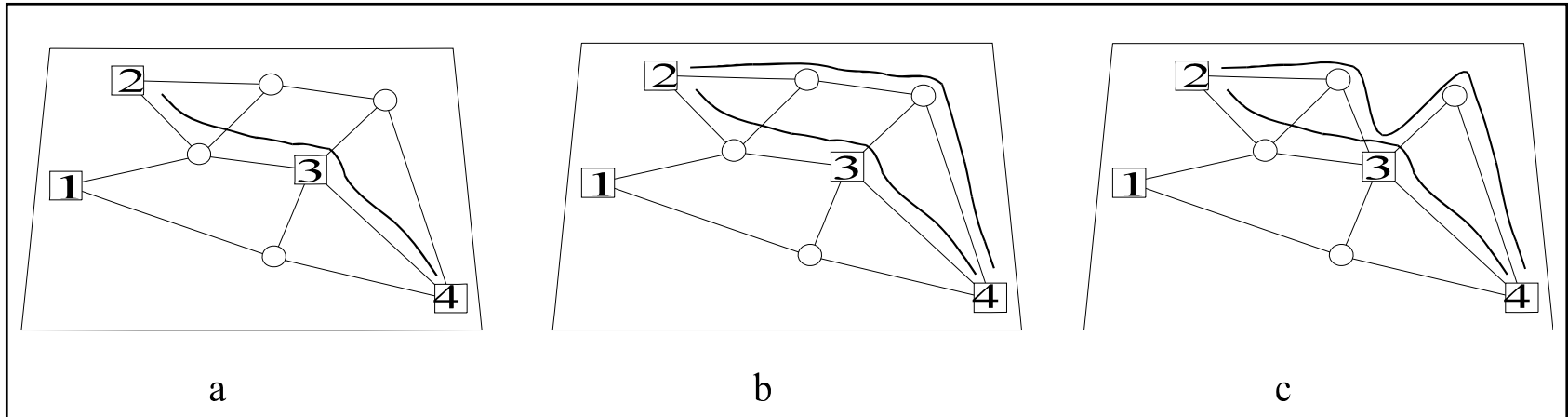
- pont-pont összeköttetés védelmére
- többutas (osztott) elvezetés
  - 1+1
  - n:m
- védelmi átkapcsolások (egy/két végen, visszatérő/nem visszatérő)
- osztott/dedikált tartalék

# Többutas elvezetés (2/1)

---

- összeköttetés- vagy pontfüggetlen utak
- osztott elvezetés
- $n$  út mellett egy hibára  $(n-1)/n$  védettség
- az információ egy része hiba esetén elvesz
- $n$  növekedésével csökkenő hatékonyság
- topológiai követelmény
  - független nyomvonalak

# Többutas elvezetés (2/2)



a) egyutas elvezetés

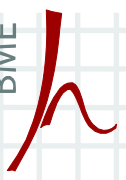
b) csomópont-független két út

c) összeköttetés-független két út

# 1+1 védelmi alapszerkezet

---

- két csomópont-független út
- azonos kapacitású átvitel
- duplikált adásirány
- vevő oldali átkapcsolás (lokális döntés, tipikusan nem visszatérő kapcsolás)
- egy hiba esetén teljes védelem

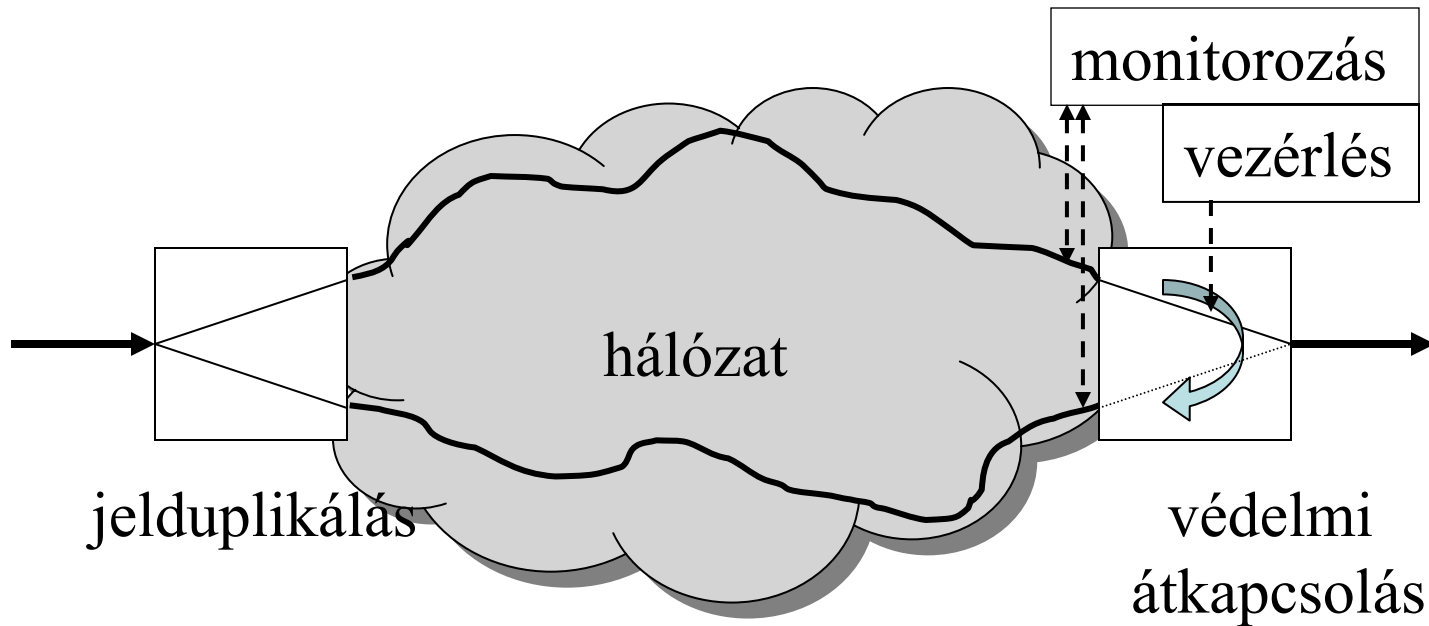


# *m:n* védelmi alapszerkezetek (2/1)

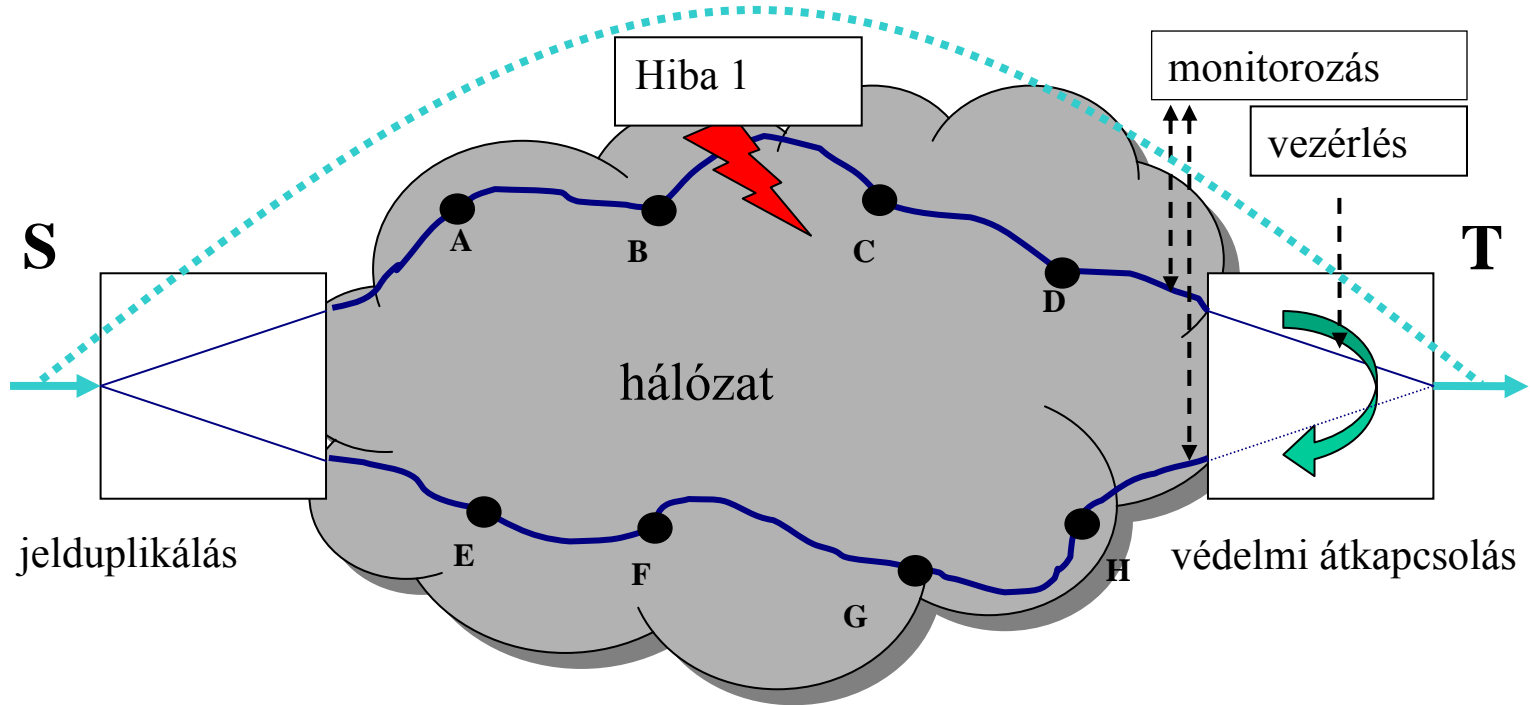
---

- *n* üzemi összeköttetésre (csatornára) *m* védelmi
- bonyolultabb átkapcsolási folyamat
  - kommunikáció szükséges
- visszatérő kapcsolat
  - kommunikáció szükséges

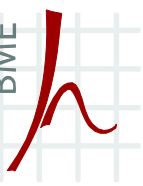
# 1+1 védelmi kapcsolás



# 1+1 védelmi séma





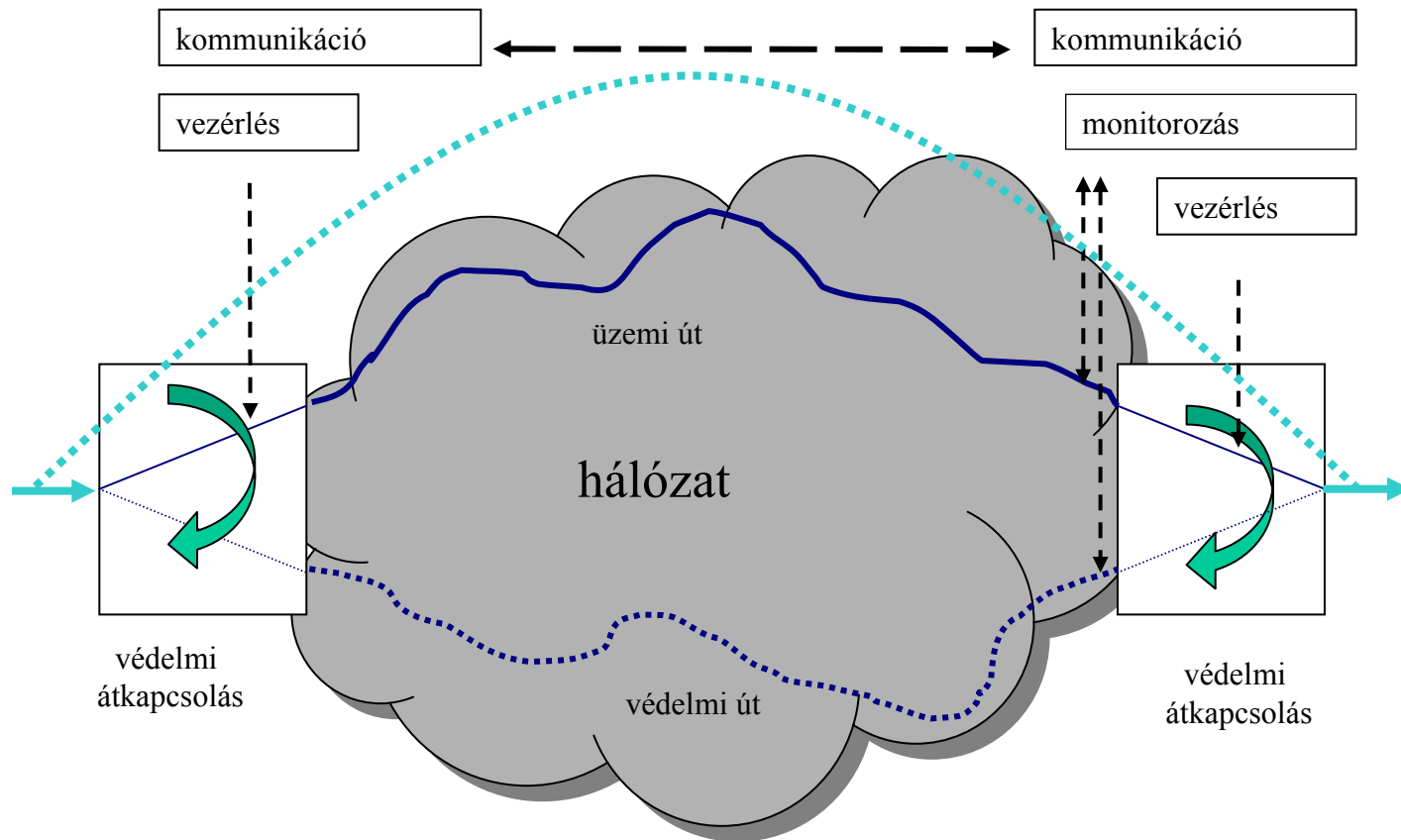


# $m:n$ védelmi kapcsolat

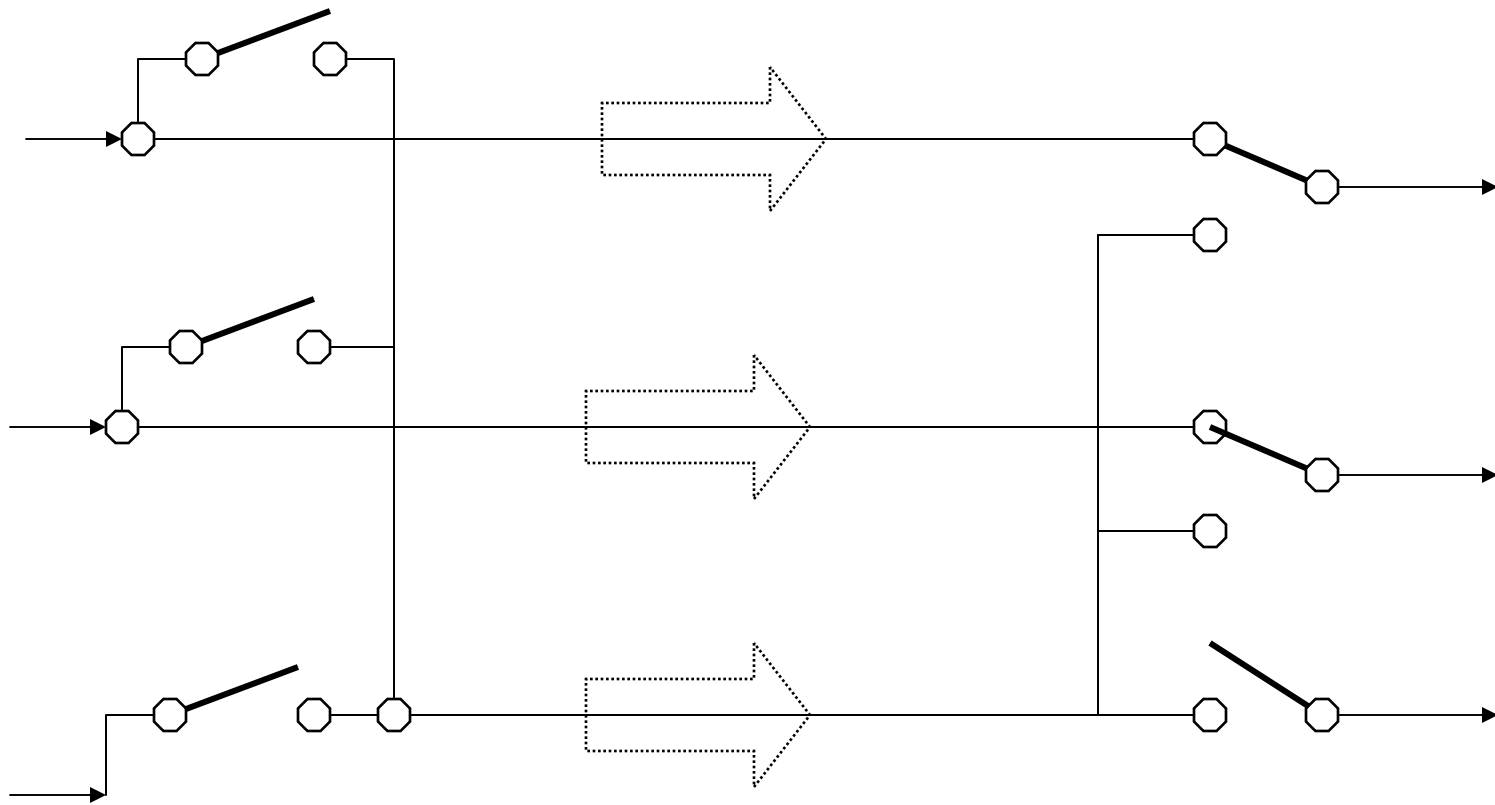
---

- $m$  hiba esetén teljes védelem
- a védőrendszer extra nem védett átviteli lehetőséget is biztosíthat
- tipikus alkalmazás  $1:n$ ,  $1:1$ ,  $n:n$

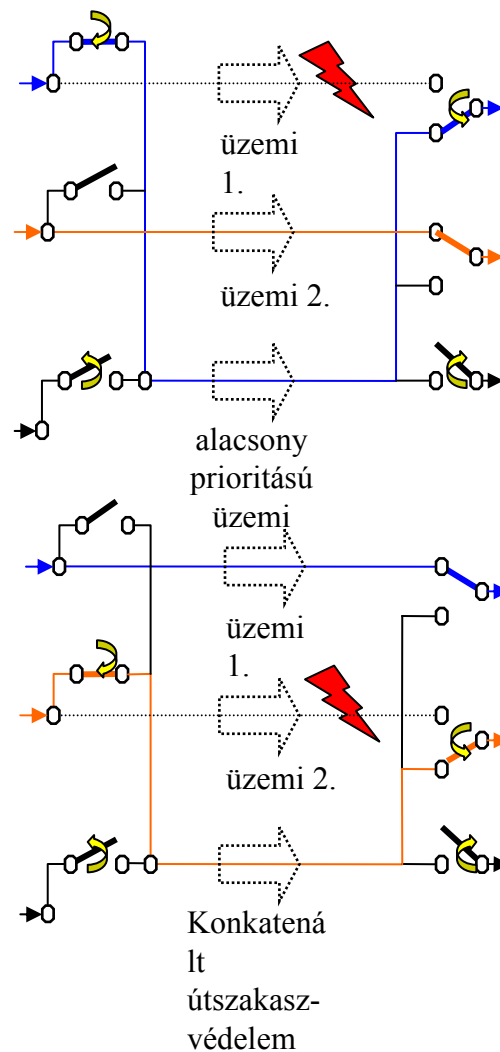
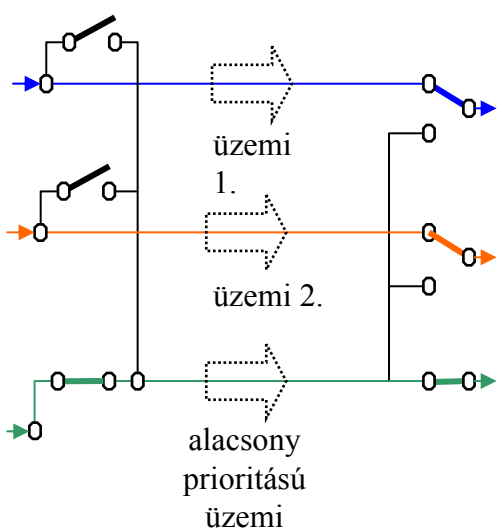
# 1:1 védelmi séma



# 2:1 osztott védelem (egyik irány)



# 2:1 védelmi séma működése



# Védelmi alapszerkezetek összehasonlítása (3/1)

---

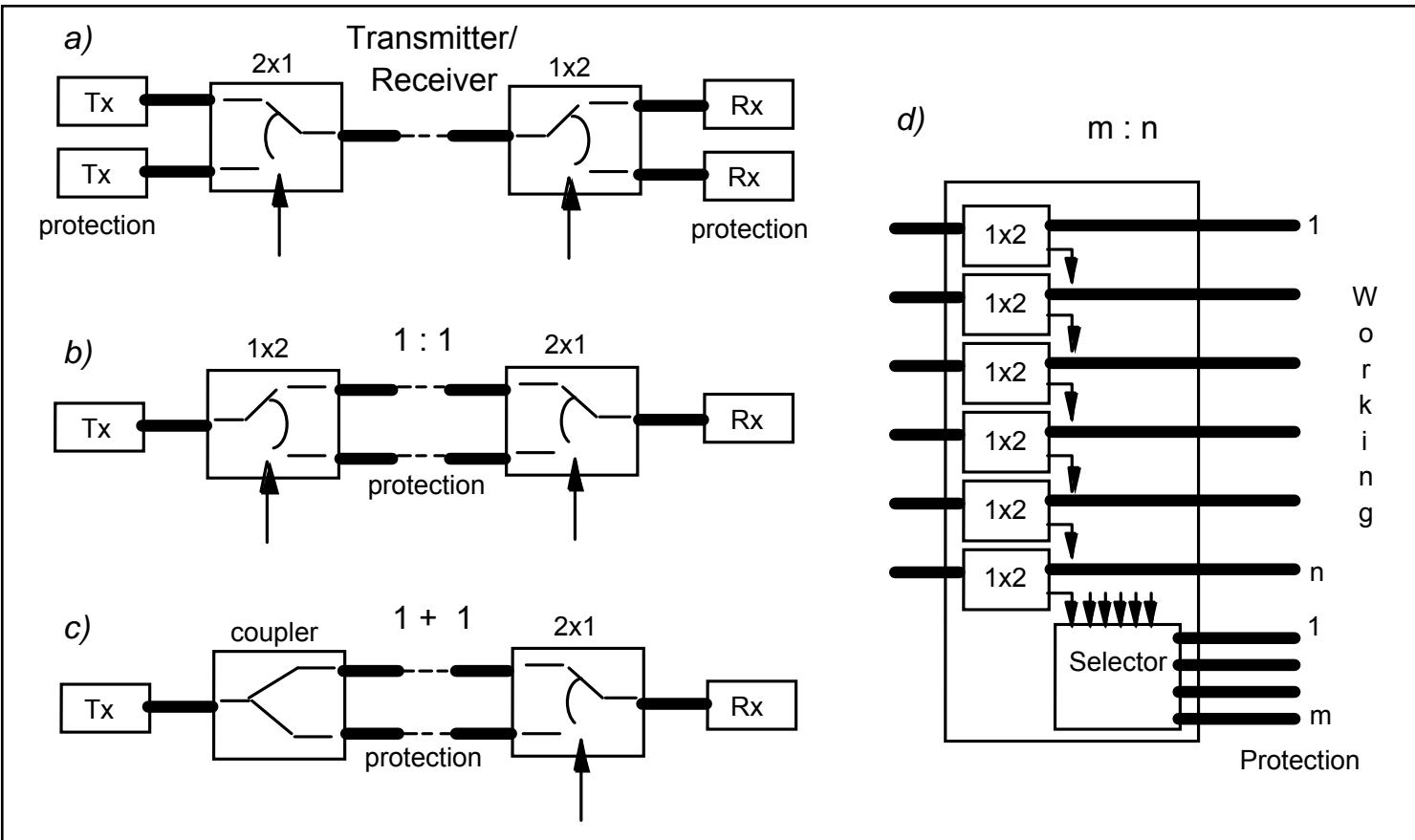
- elérhető védelem
- működés bonyolultsága
- hatékonyság
- tipikus alkalmazások

# Védelmi alapszerkezetek összehasonlítása

## (3/2)

	védelem (egy hiba)	működés	hatékonyság
kétutas elvezetés	50%	nincs	útszámmal csökken
1+1	100%	lokális döntés	megfelelő
1:1	100%	kommuni- káció	extra átvitel

# Védelmi alapszerkezetek összehasonlítása (3/3)



# Alapsémák kiterjesztései

---

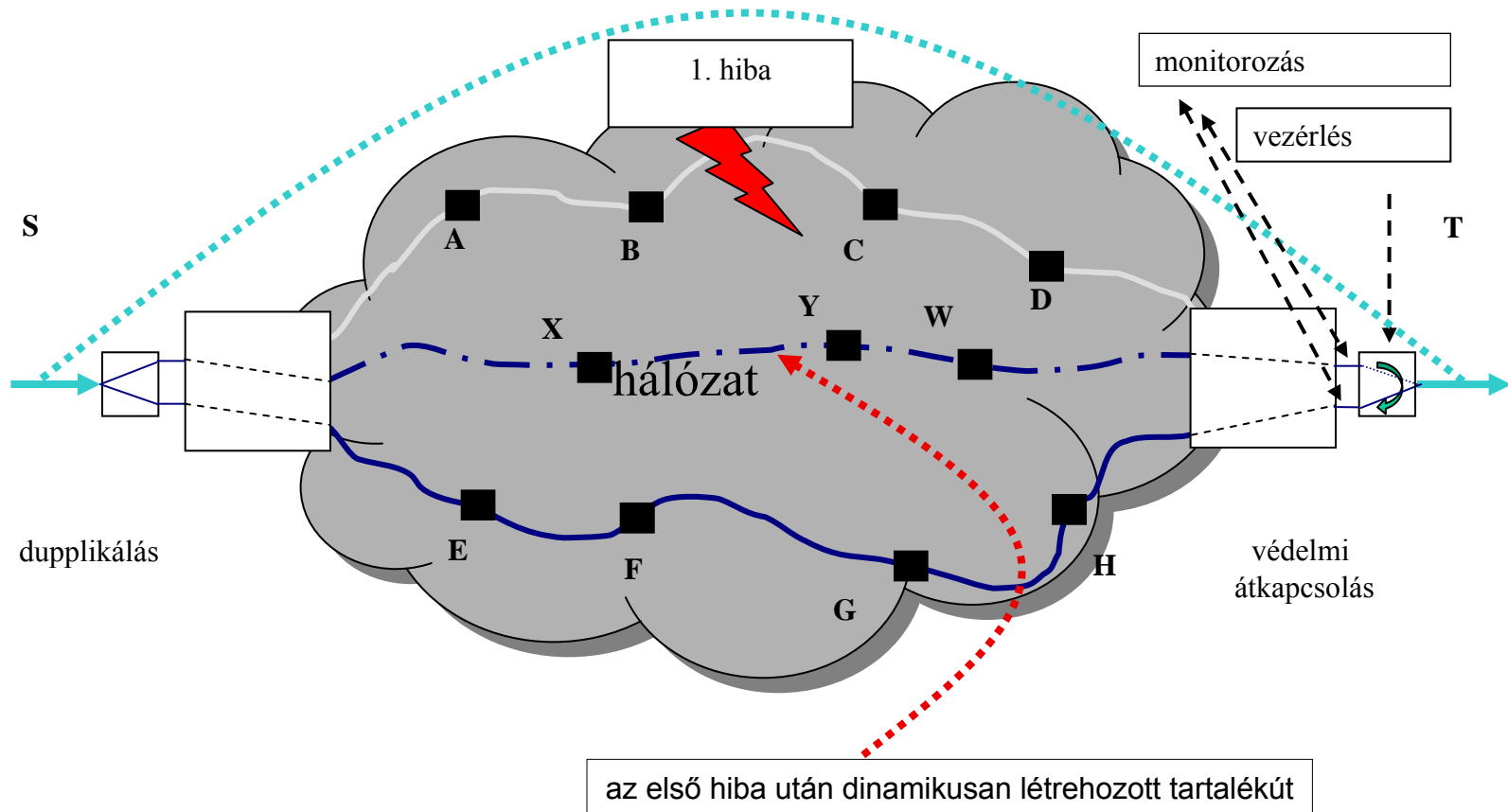
- intelligens hálózati működésre és konfigurációs kapcsolási funkcióra alapozottan (pl. ng SDH vagy OTN, csomóponti cross-connect funkcióval és GMPLS vezérléssel)
- **1+n permanens védelem**
  - a pont-pont szolgáltatást védő 1+1 dedikált útvédelem dinamikus kiterjesztése, hiba esetén –  $n$  hibáig – a hálózati működés dinamikusan pótolja a kiesett utat, és fenntartja az 1+1 sémát
- **osztott útvédelem**
  - a pont-pont szolgáltatást védő 1+1 dedikált útvédelem kiterjesztése különböző pont-pont szolgáltatások védelmi erőforrásainak megosztására



# Kiterjesztett 1+n védelmi séma

n=2:

- az első hiba után új úttal kiegészítve továbbra is 1+1
- a második hiba után nincs további redundancia (védelem)



# Osztott útvédelem

