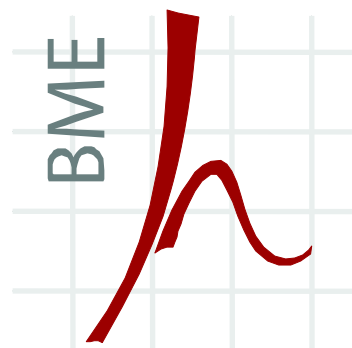


Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamosmérnöki szak, mesterképzés - Újgenerációs hálózatok szakirány
Hálózatok fejlesztése és tervezése mellékszakirány, kötelezően választható tárgy



BMEVIHIM354 Hálózattervezés

7. Gerinchálózatok tervezése

*Fazekas Péter, Jakab Tivadar
Híradástechnikai tanszék*

- Gerinchálózatok általános jellemzői
- Gerinchálózatok tipikus tervezési problémái
- IP gerinchálózat tervezés
- IP/MPLS gerinchálózat tervezés
- WDM gerinchálózat tervezése

Gerinchálózatok általános jellemzői

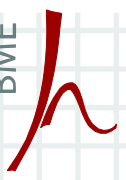
- Nagykapacitású, nagytávolságú összeköttetések
- Hosszú távon változatlan általános jellemzők
 - Pl. nyilvános hálózati szolgáltató országos gerinchálózatában a meghatározó hálózati pontok száma, helye, a hálózat szerkezete gazdasági, demográfiai, földrajzi jellemezőkből következik (kevésbé függ az alkalmazott hálózati technológiától)
- **Komplex hálózati szerkezet**
 - sok szolgáltatás támogatása minél kevesebb technológia alkalmazásával
 - több technológiai réteg (NGN esetén tipikusan IP/MPLS és WDM)
 - általános, szövevényes fizikai és logikai topológia
- Nagykapacitású rendszerek -> hálózatvédelmi megoldások
- Menedzselhetőség, fejleszthetőség, skálázhatóság alapvető követelmény

Gerinchálózatok tipikus tervezési problémái

- Általában többrétegű hálózat tervezése - az összetett problémát külön tárgyaljuk, - most az összetevők, az egyes réteghálózatok tervezési problémái:
 - logikai topológia tervezése
 - mik hálózati csomópontok funkciói
 - melyek a szomszédos csomópontok
 - rendszertechnika tervezése
 - funkciók és rendszerek méretezése
 - kapacitás (biztosítandó sávszélesség, optikai csatorna) igények kiszolgálásának konfigurációja
 - utak

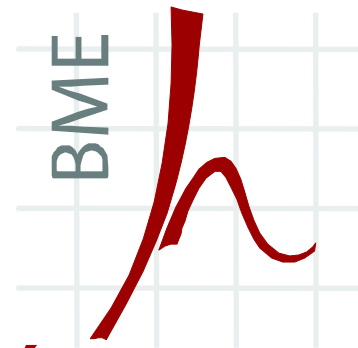
A kábelhálózat tipikusan meglévő, tervezési modelljeire a többrétegű eset kapcsán térünk majd ki.

- **adott**
 - a kiszorgálandó optikai csatorna (OCh) igények, kiszorgálási követelmények (pl. védelem)
- **a tervezési feladat meghatározni**
 - az OCh utakat, hordozó hullámhossz
 - a WDM optikai multiplex szakaszokat
 - a szüksége csomóponti funkciókat, kapacitásukat, konfigurációjukat (transzponderek, végződő és tranzitált OCh-k)
- **a technológiai képességek és korlátok alapvetően befolyásolják a kialakítható megoldást**



WDM technológiai képességek és korlátok

- **vonali erősítés nélkül áthidalható távolság**
 - a szomszédosságot, így a logikai topológiát befolyásolja
- **erősített szakaszok maximális száma**
 - a maximális áthidalható távolságot, így az optikai csatornák megengedett útjait befolyásolja
- **optikai kapcsolás és menedzselhetőség (konfigurációs és védelmi célokra)**
 - az alkalmazható védelmi megoldásokat befolyásolja
- **csomóponti konfigurációs kapcsolási funkció által kiszolgált hálózati irányok száma**
 - a hálózat szerkezetét, az egyes csomópontok lehetséges csatlakoztatási módjait, a hálózat logikai szerkezetét befolyásolja (felfűzés, gyűrű, szövevény)
- **optikai multiplex szakasz kapacitása (hullámhossz-számban)**

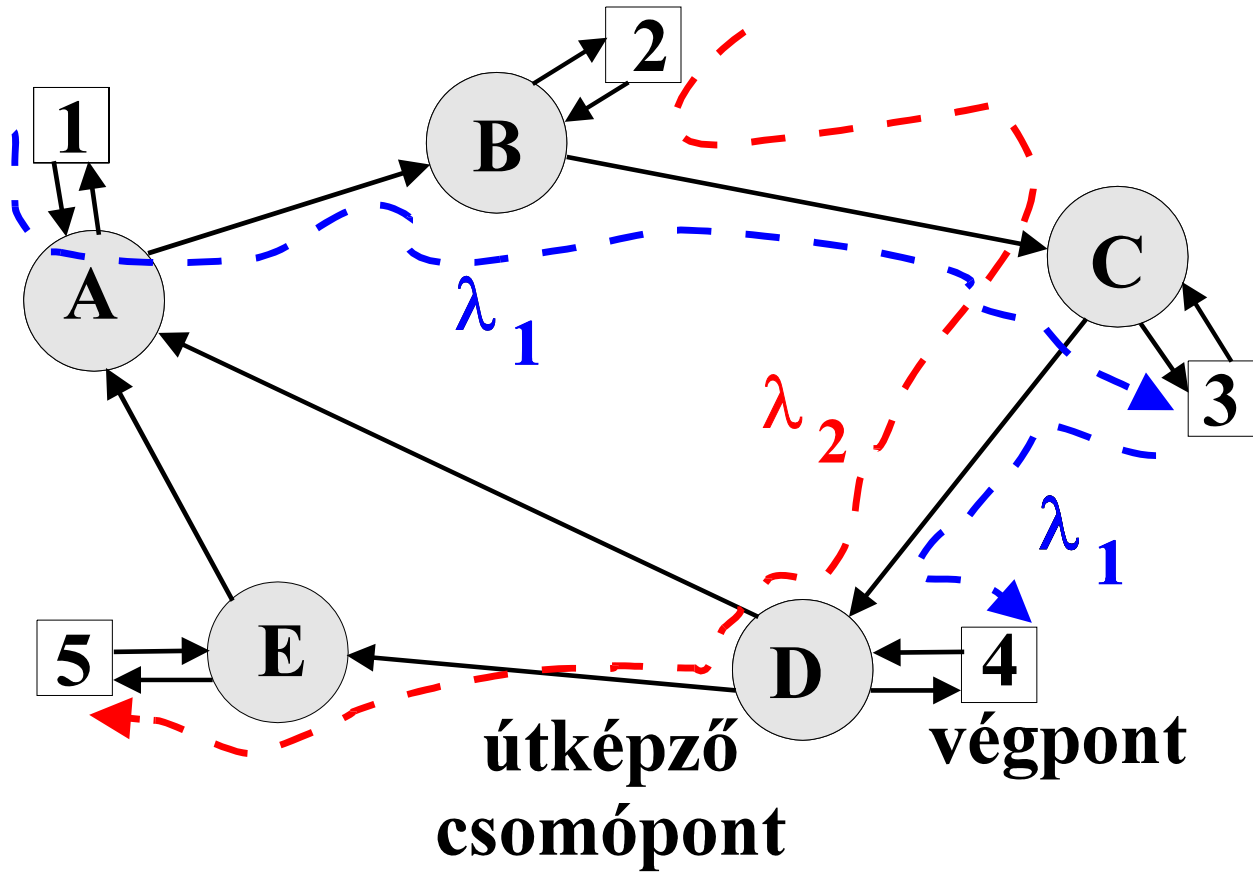


Útképzés és tervezési vonatkozásai WDM alapú hálózatokban

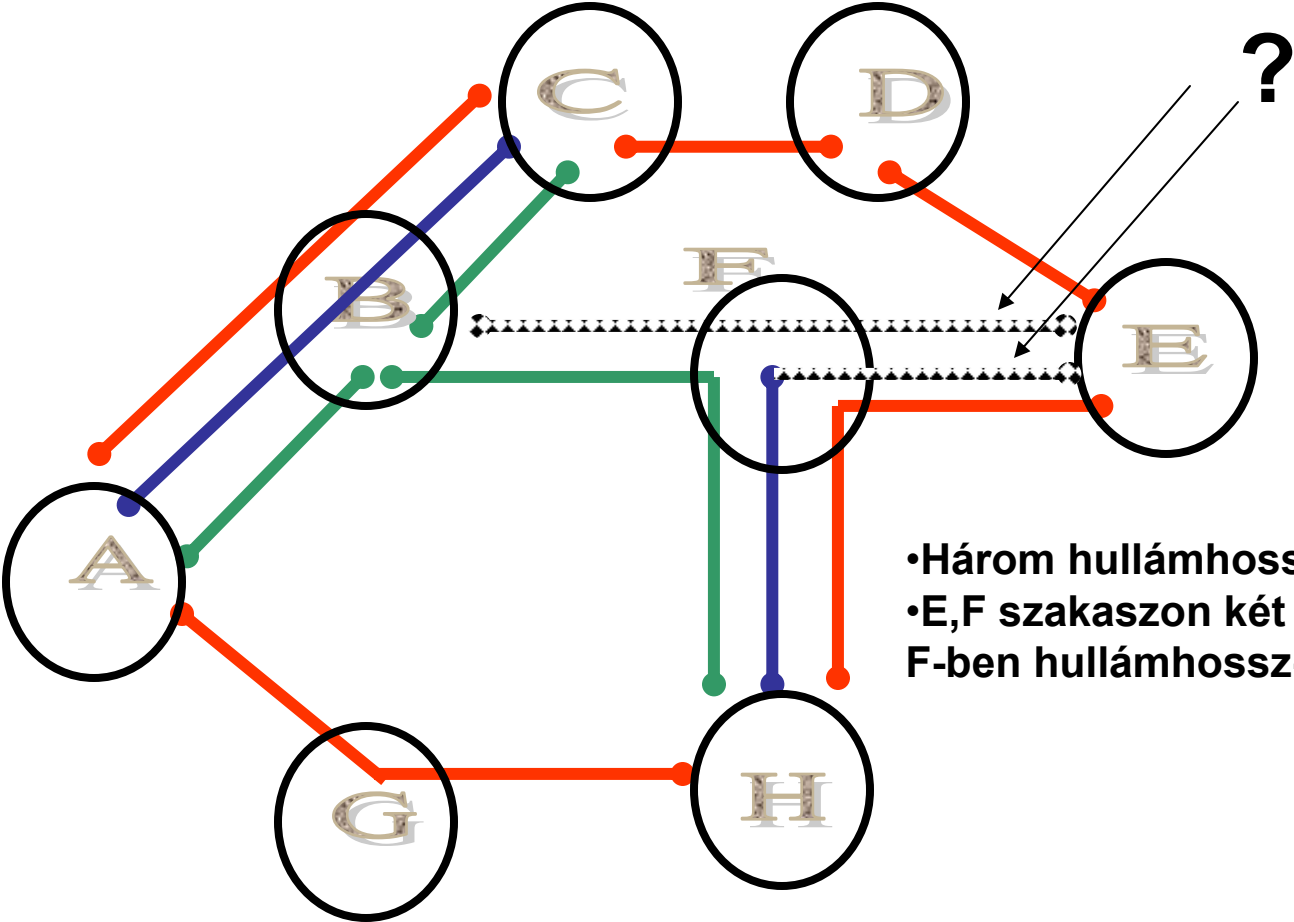
WDM alapú útképzés

- Átfedésben lévő (közös szakaszon futó) utak elkülönítése hullámhosszban vagy optikai szálban
 - közös optikai szál – eltérő hullámhossz
 - eltérő optikai szál – bármilyen hullámhossz

Hullámhossz-útképzés



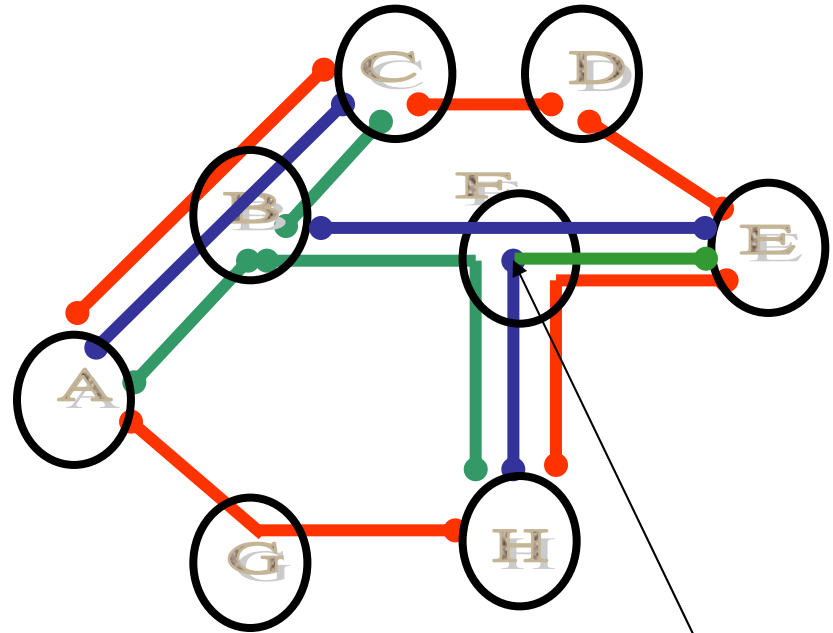
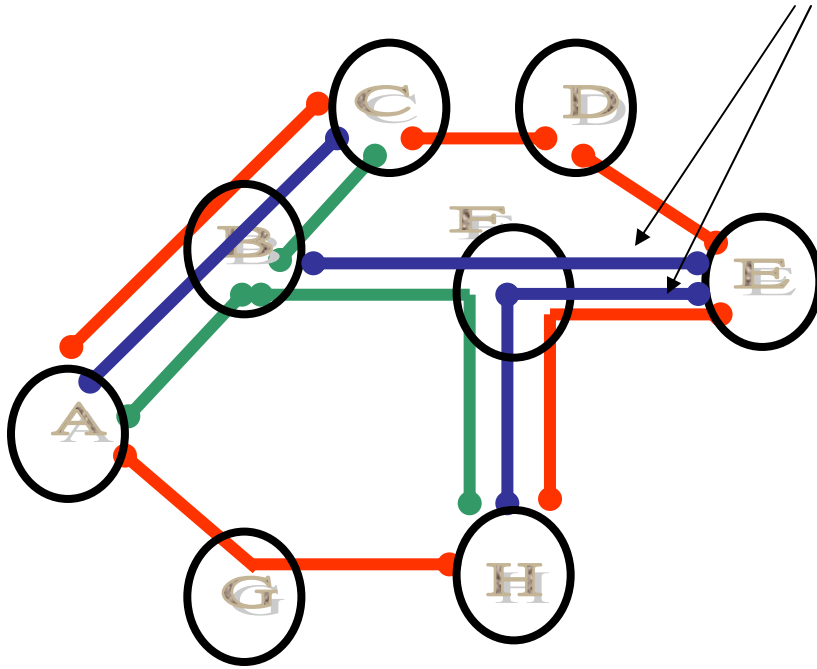
Hullámhossz-útképzés



- Három hullámhossz szakaszonként
- E,F szakaszon két optikai szál vagy F-ben hullámhossz-konverzió

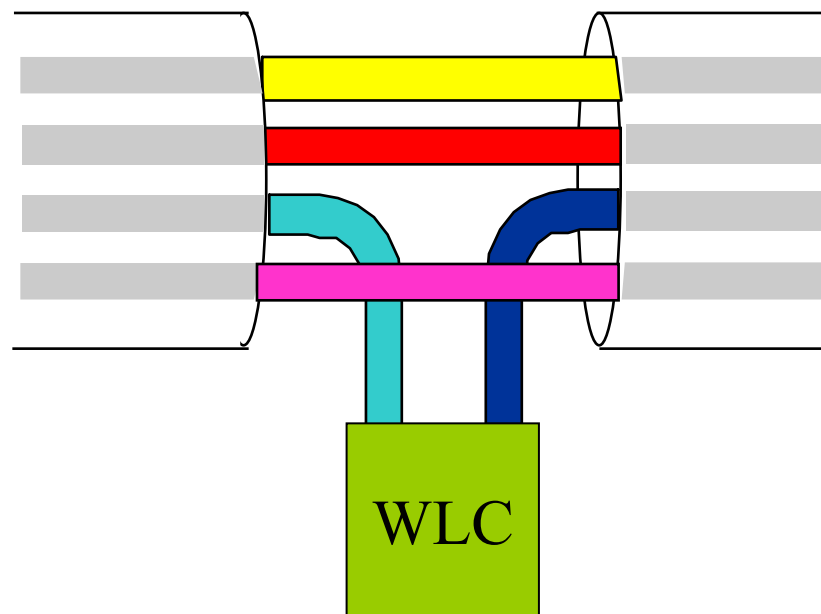
Hullámhossz-útképzés

külön optikai szálban



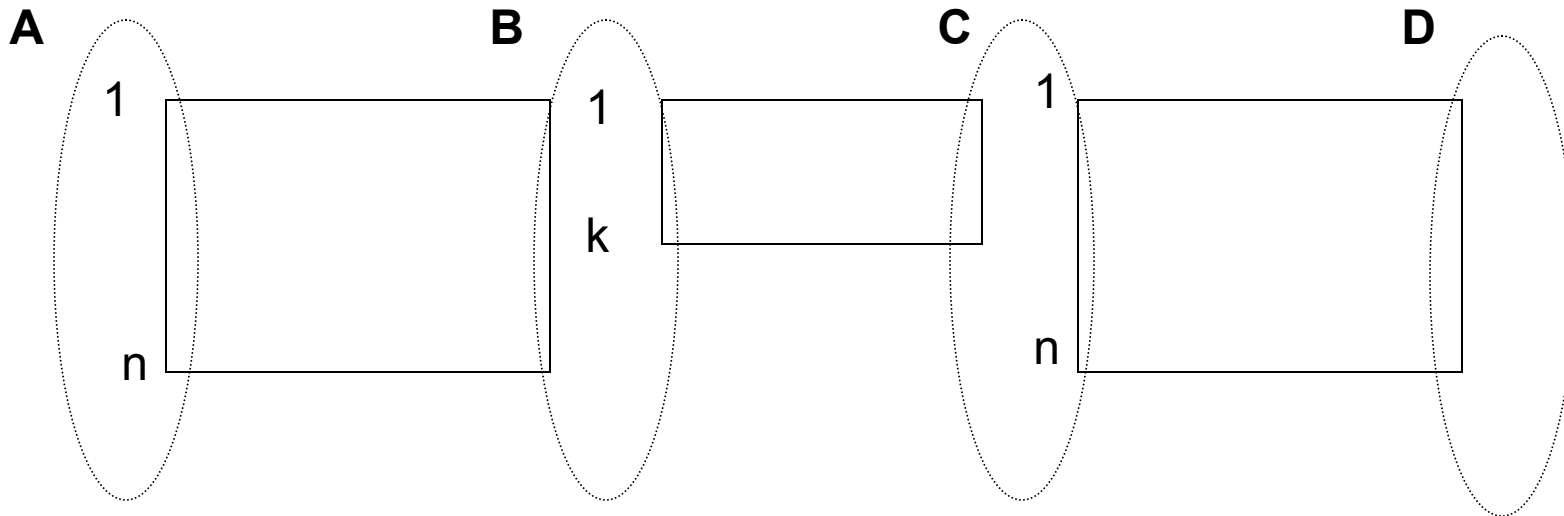
hullámhossz-konverzióval

- **Rendezhetőség:**
 - csak azonos hullámhosszú csatornák kapcsolhatók össze, vagy
 - hullámhossz-konverzió szükséges

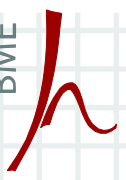


Hullámhossz-útképzés

- modularitás
 - eltérő hullámhossz-számú multiplex rendszerek csatlakoztatása



- hullámhosszal $k+1$ -től n -ig: csak (A,B) és (C,D) közötti információ-szállításra



Folytonos hullámhossz korlát

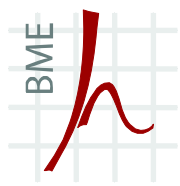
- Egy optikai út végponttól végpontig azonos hullámhosszt használ
- az optikai csatornák nem hatékony kihasználtságát okozhatja.
- Például:
 - egy adott útvonal mentén szabad optikai csatornák vannak, de nem alkotnak egy folytonos hullámhossz-utat.
- Az útvonalválasztás és hullámhossz-hozzárendelés a hálózat kihasználtsága/teljesítőképessége szempontjából kritikus probléma
- Ha minden csomópont rendelkezik teljes hullámhossz-konverziós képességgel nincs folytonos hullámhossz korlát a hálózatban (hullámhossz-hozzárendelés szakasról szakaszra), ez tipikusan O/E/O megoldás, nem transzparens átvitel (E kliensfüggő)

Útvonalválasztás, hullámhossz- kiosztás

A műszaki probléma

- RWA (**R**outing and **W**avelength **A**llocation)
- Milyen utakat használjunk?
- Mely utakat kell egymástól (hullámhosszban) elkülöníteni?
- Megoldás együtt vagy egymás után?
- Hány különböző hullámhossz szükséges hálózati szinten?

- A probléma alapváltozata:
 - kötött elvezetések
 - nincsenek kapacitáskorlátok
 - nincs hullámhossz-konverzió



Hullámhossz kiosztás

A műszaki probléma

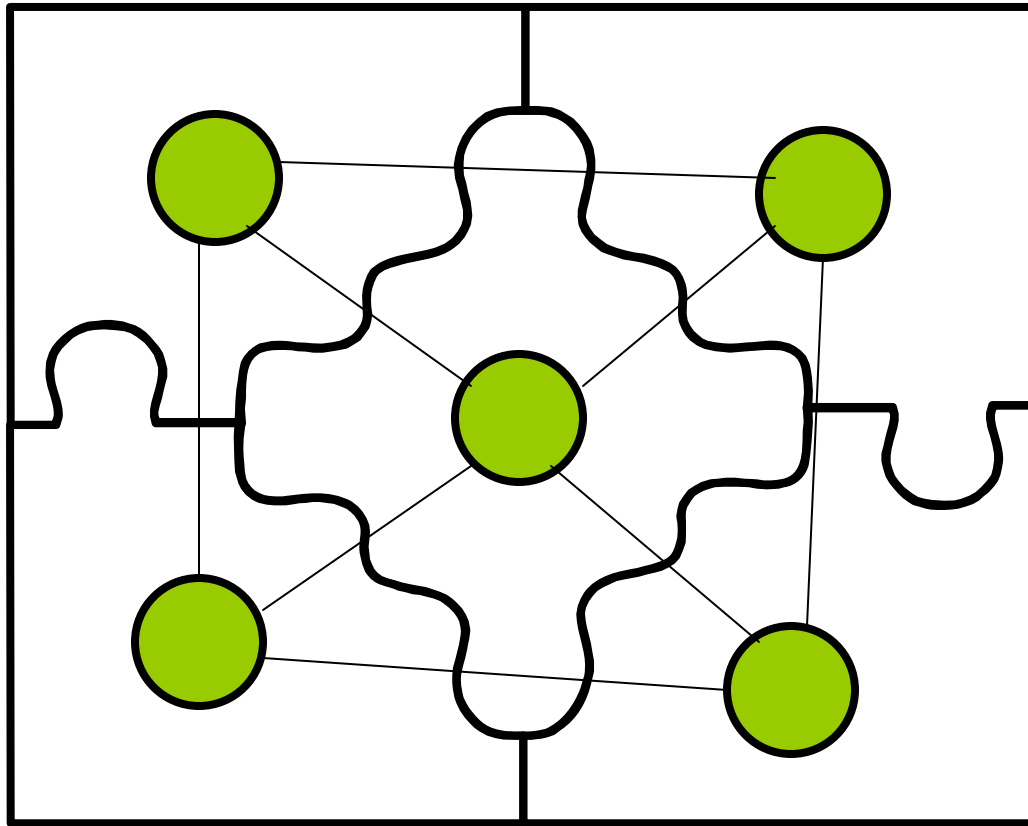
- Mely utakat kell egymástól (hullámhosszban) elkülöníteni?
- Hány különböző hullámhossz szükséges hálózati szinten?

Hullámhossz kiosztás

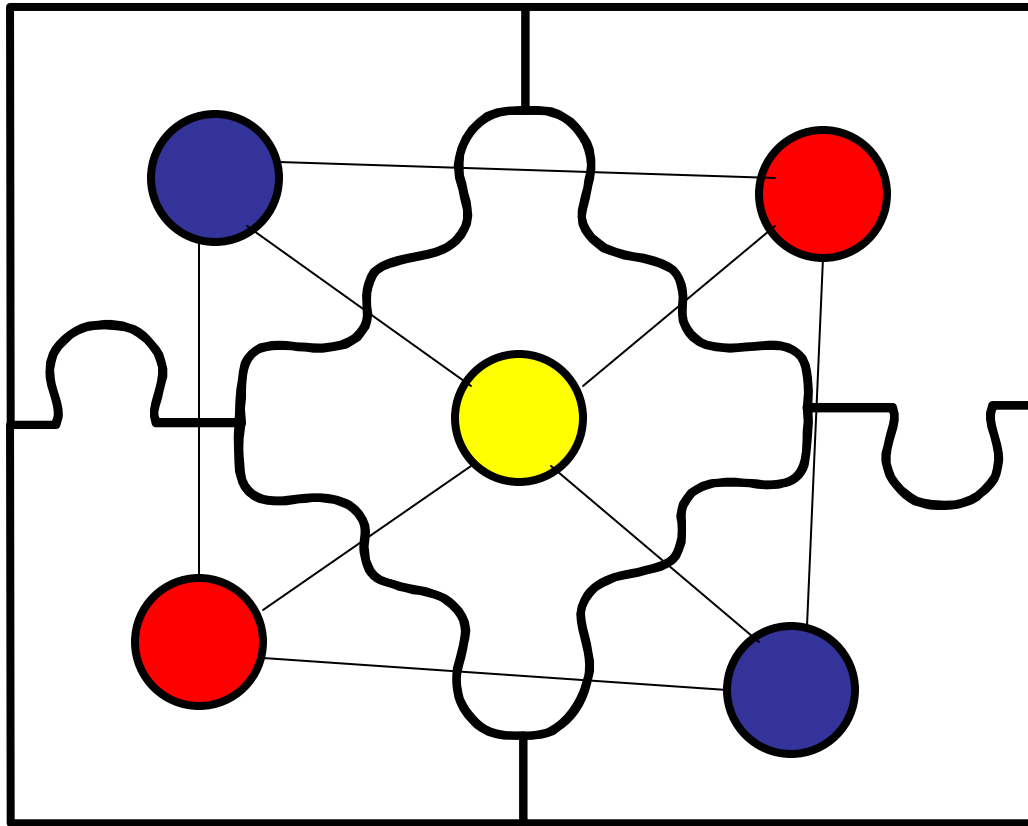
A probléma modellezése

- **színezési probléma**
 - a feladat leképezése egy színezési gráfra
 - csomópontok: utak
 - élek: azonos útszakaszokkal rendelkező utak között
 - a feladat: az élekkel összekötött csomópontok legyenek különböző színűek

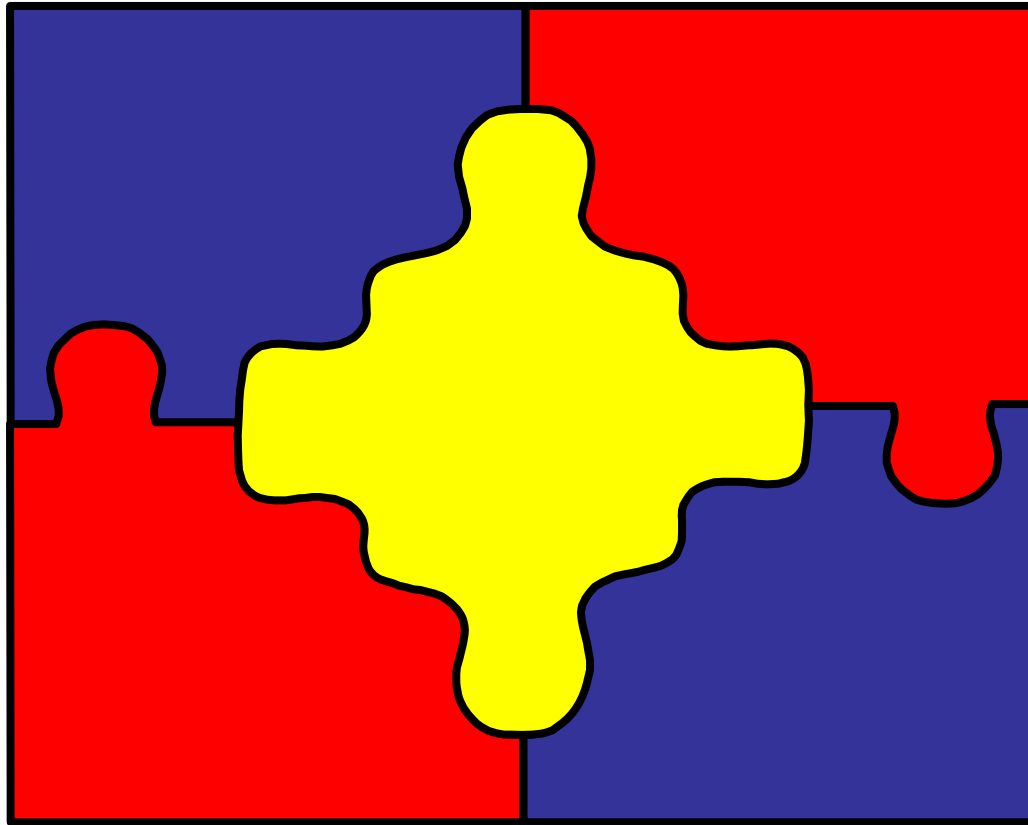
Szinezési probléma



Szinezési probléma

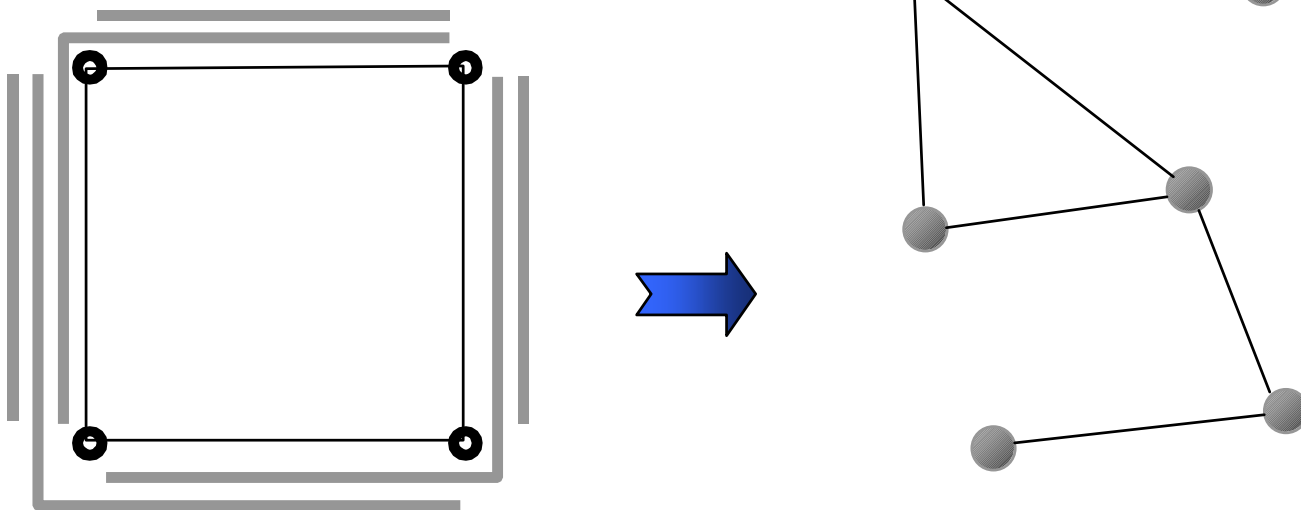


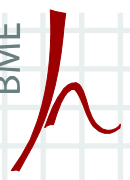
Szinezési probléma



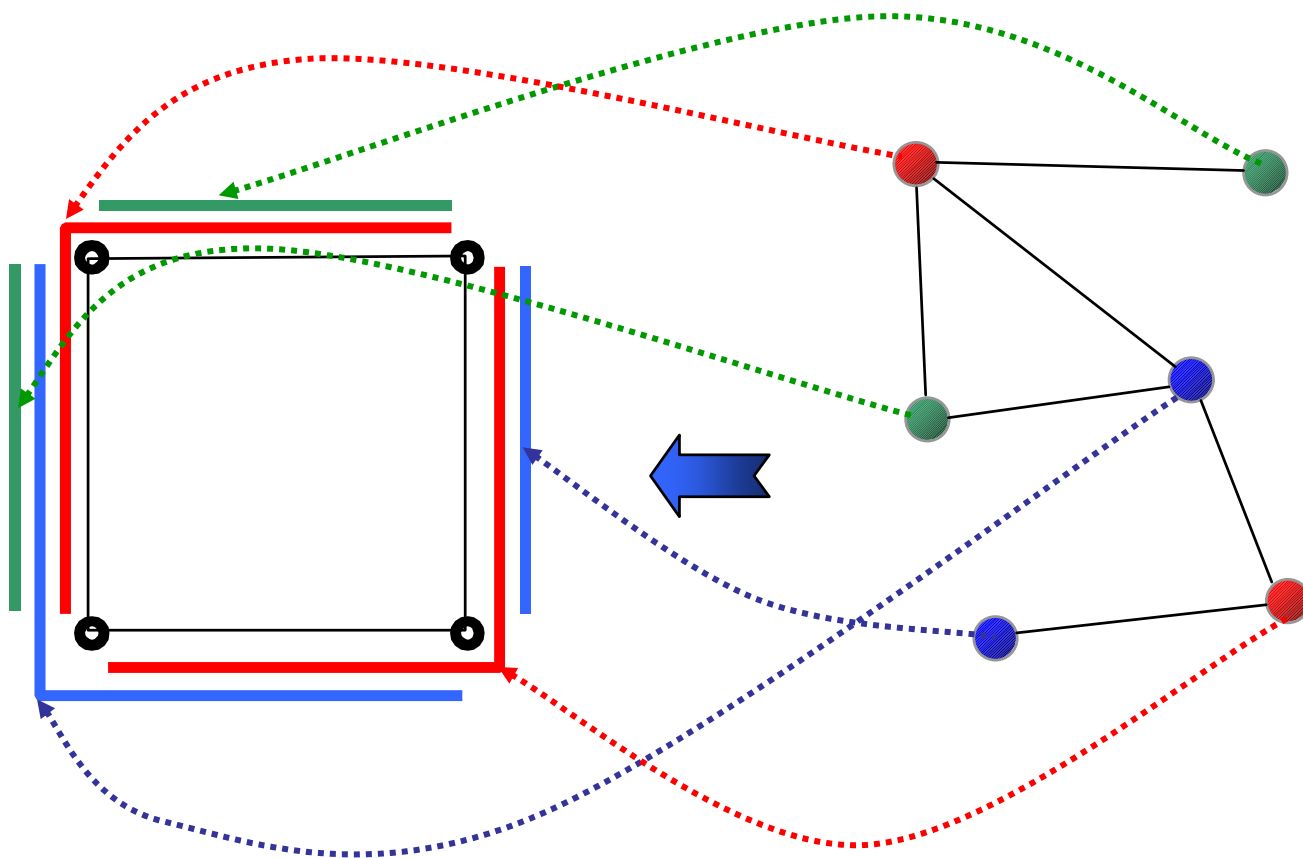
Hullámhossz kiosztás: színezési probléma - alapeset

Nem védett OCh-k előre meghatározott utakkal





Hullámhossz kiosztás: színezési probléma - alapeset

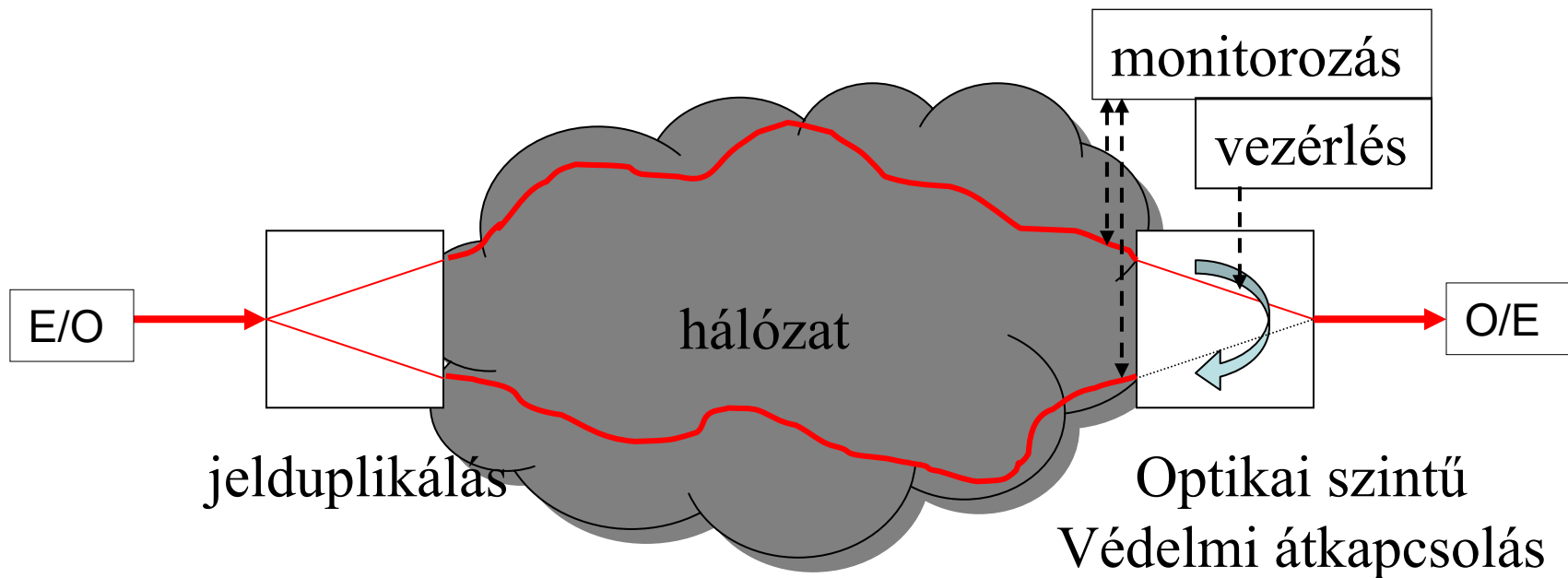


Hullámhossz-kiosztás

- összetettebb probléma, ha védelmi megoldást is figyelembe kell venni
- 1+1 útvédelem
- OMSSP gyűrű
- helyreállítás

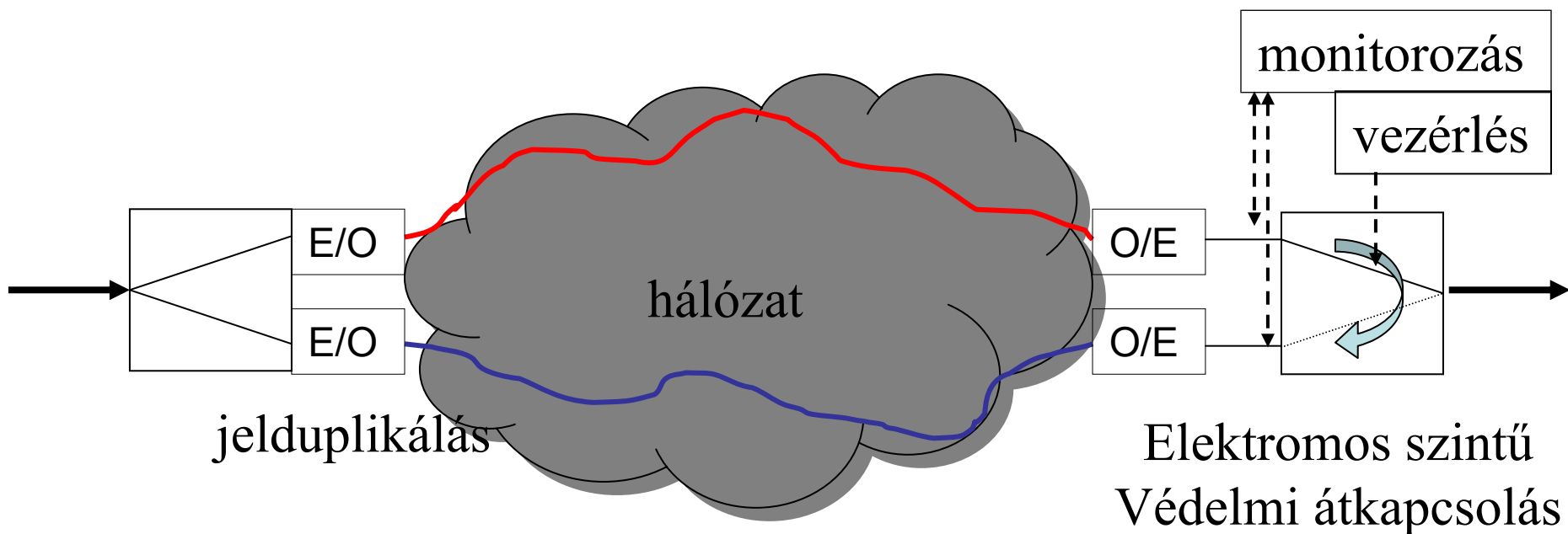
Hullámhossz-kiosztás 1+1 dedikált útvédelem esetén (1)

- Monitorozás, hibadetektálás (S/N, LoS), átkapcsolás az optikai tartományban, üzemi és védelmi út azonos hullámhosszon



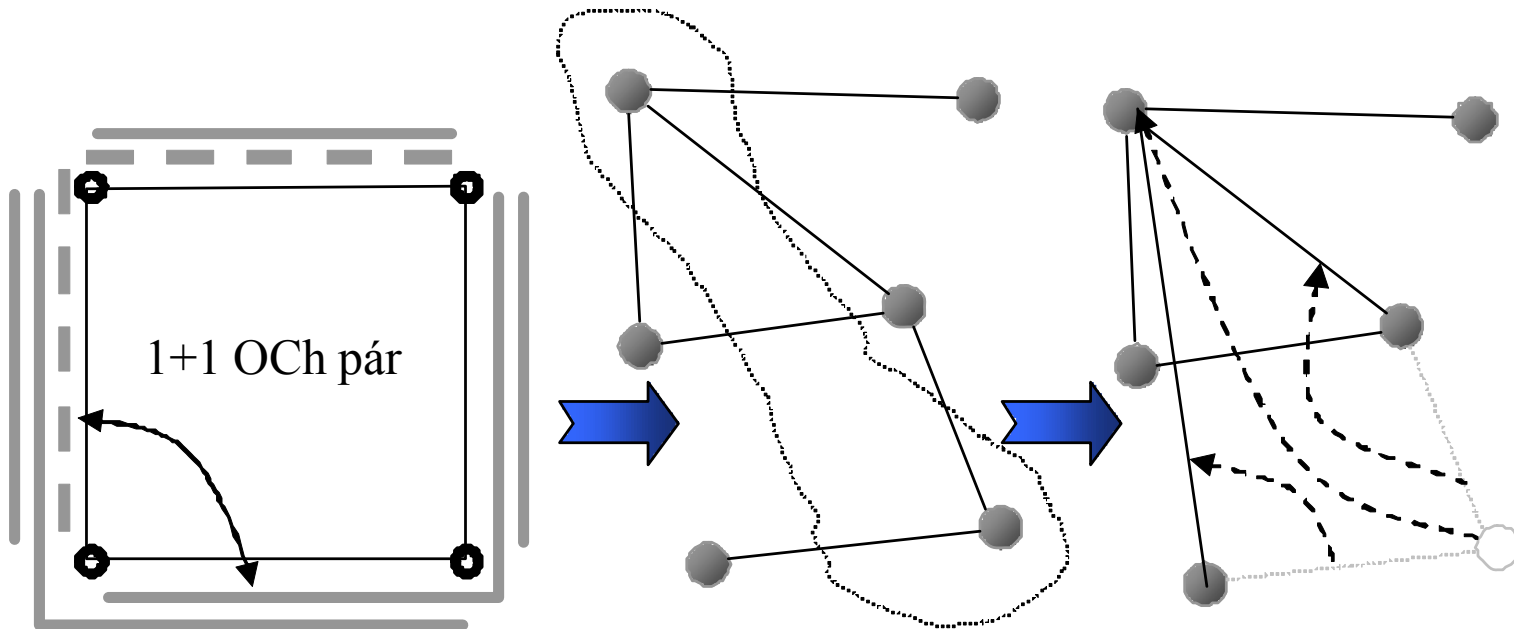
Hullámhossz-kiosztás 1+1 dedikált útvédelem esetén (2)

- Monitorozás, hibadetektálás (BER), átkapcsolás az elektromos tartományban, üzemi és védelm út tetszés szerinti hullámhosszon

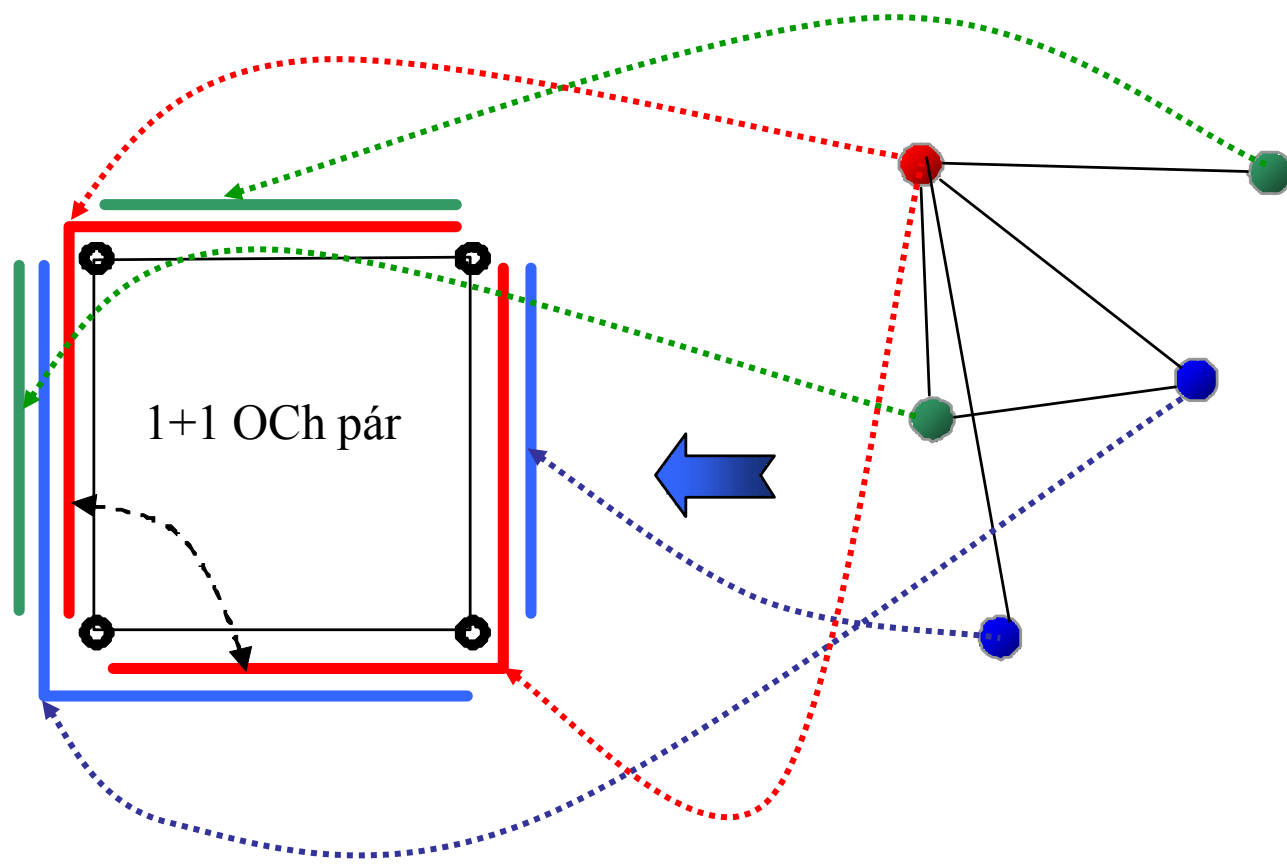


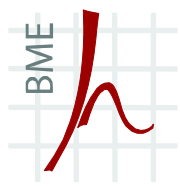
Hullámhossz kiosztás: színezési probléma – egy kiterjesztés

Dedikált 1+1 OCh védelem -> azonos hullámhossz az üzemi-védelmi párnak
Csomópontok összevonása a konfliktusgráfban



Hullámhossz kiosztás: színezési probléma – 1+1 védelemmel



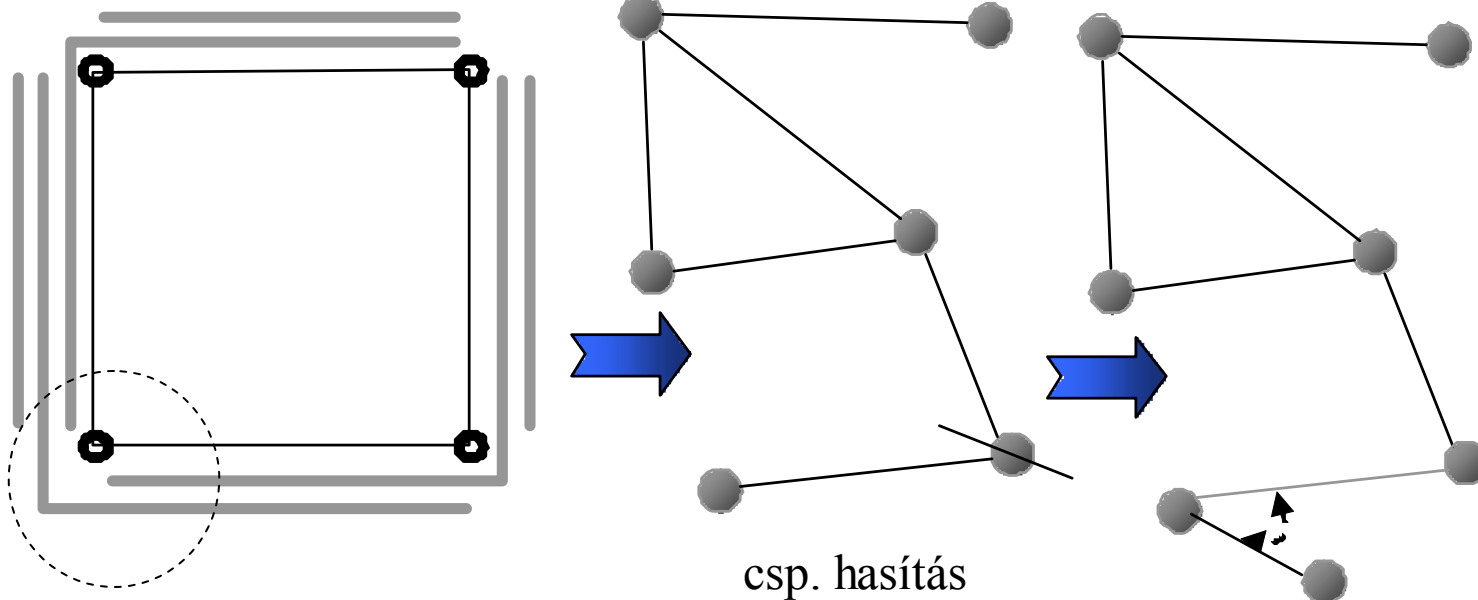


Potenciális hullámhossz-konverzió hatása a színezésre

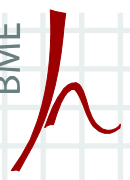
- Az OCh út hosszkorlátja 3R regenerálás beiktatását teheti szükségessé
- O/E/O 3R esetén potenciális hullámhossz-konverziós pont
- Az adott OCh út két független színezhető szakaszra esik szét

Hullámhossz kiosztás: színezési probléma - alapeset

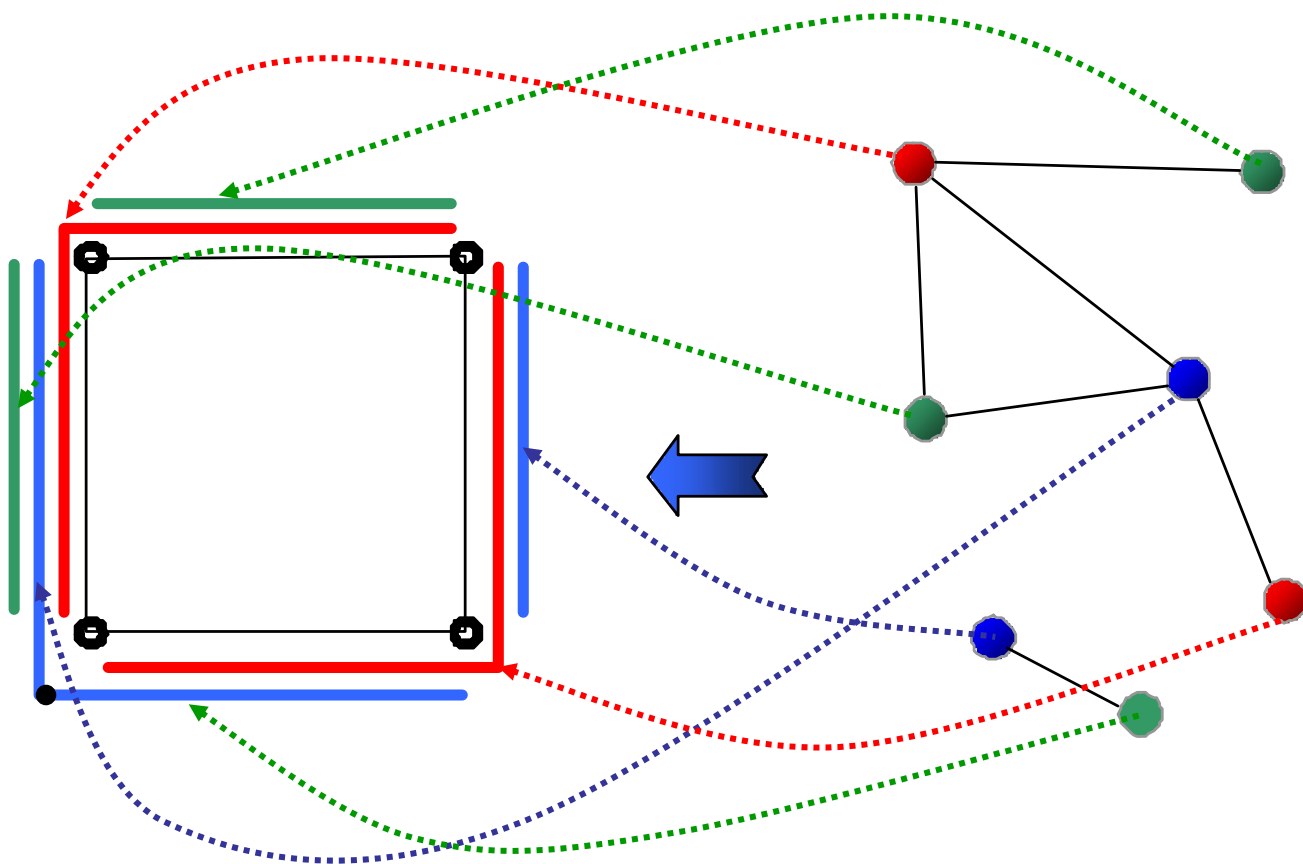
Nem védett OCh-k előre meghatározott utakkal



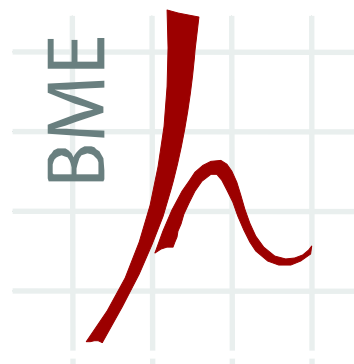
O/EO 3R szükséges az átmenő útra,
potenciális hullámhossz-konverzió



Hullámhossz kiosztás: színezési probléma - alapeset



- **Két lehetséges megközelítés (heurisztikus particionálás)**
 - Mindkét esetben az OCh utak meghatározása az első lépés (kábeltopológián, vagy annak kapacitáskorlátos modelljén)
 - A különbség a szinezés és az OMS méretezés sorrendjéből adódik
 - Előbb szinezés
 - konfliktusgráf kábeltopológia-utak alapján, szinezés végtelen kapacitású szinezési készlettel
 - OMS méretezés: maradékos osztással
 - Előbb szakaszolás:
 - OMS-ekre bontás feltételezett szinezési veszteség alapján
 - konfliktusgráf végtelen kapacitású szinezési készlettel
 - konfliktusgráf OMS-utak alapján, szinezés OMS kapacitású szinezési készlettel



IP és IP/MPLS hálózat tervezése

- **adott**
 - általános architekturális jellemzők (szolgáltatások, IGP, stb.)
 - a biztosítandó sávszélesség igények, kiszolgálási követelmények (pl. védelem)
 - *Megjegyzés: a biztosítandó sávszélesség meghatározása mérési adatokból vagy normatív modell (tipikus alkalmazások, forgalomjellemzők, felhasználói viselkedés, alapján külön probléma)*
- **a tervezési feladat meghatározni**
 - az logikai topológiát, beleértve az alapvető működés topológiai jellemzőit is:
 - OSPF: areak, IS-IS: levelek
 - a link és routerkapacitásokat
 - eszközválasztás, konfigurálás

Tervezési lépések

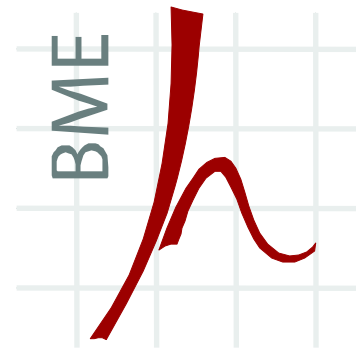
- **Topológia meghatározása és linkek méretezése**
 - interfész egyensúly alapján (linkek „kihajthatósága)
 - forgalmi adatok alapján
 - logikai szerkezeti megfontolások (hierarchia)
 - méretgazdaságossági megfontolások (közvetlen link nagy tranzitok helyett)
 - sávszélesség-igények újtjai kapacitáskorlát nélküli modell alapján (IGP routing szerkezet, minimálutak, terhelésmegosztás)
 - hibamentes és hibás állapotok linkterhelései
 - hibás állapotokban a védelmi osztályoknak megfelelő erőforrás-kezelés
 - védelmi osztályok: védett, részben védett, nem védett, kizorítható
- **Eszközök konfigurálása**
 - platformok (szempontok:, skálázhatóság, üzemeltetés. tartalékolás)
 - interfészek
 - redundancia

Linkek méretezése

- **forgalmi modellről függő megközelítések**
 - interfész egyensúly (logikai topológia alapján, egyenletes forgalomeloszlást feltételezve)
 - forgalmi mátrix és utak alapján
- **figyelembevett hálózatállapotokról függő megközelítések**
 - csak hibamentes eset alapján
 - linkhibák (SRLG hibák) figyelembevételével
- **védelmi osztályok figyelembevétele**
 - hibamentes esetben minden forgalom megkapja a biztosítandó sávszélességet
 - hibaesetben négy kategória
 - védett: új út teljes sávszélességgel
 - részben védett: új út csökkentett sávszélességgel
 - nem védett: nincs új út
 - kizorítható: az üzemi (hibamentes) úton sem biztosított a sávszélesség

Egyszerűsített IP/MPLS tervezési problémák

- Ha nincs TE -> IP tervezési analógia
 - logikai topológia
 - sávszélesség-igények újtjai kapacitáskorlát nélküli modell alapján
 - linkek, routerek méretezése
- Ha van TE, akkor TE-tunnel (~út) alapú tervezés
 - logikai topológia
 - sávszélesség-igények újtjai kapacitáskorlátos modell alapján, TE alapú védelmi megoldások figyelembevételével
 - linkek, routerek méretezése



IP és IP/MPLS logikai topológiák

- A forgalmak dominánsan egy kiemelt szerepű helyre illeszkednek
- További helyek több kategóriában hálózati szerepük és forgalmuk alapján
- Értékelési szempontok
 - direkt/tranzit forgalmak
 - redundancia
 - skálázhatóság forgalmi szempontból
 - hordozó WDM hálózattal szembeni követelmények

Kettős csillag

Két pontkategória:

- csillagpont (CsP)
- többi

Tranzit:

- csak CsP-n, a nem CsP-n eredő/végződő forgalmakra

Redundancia:

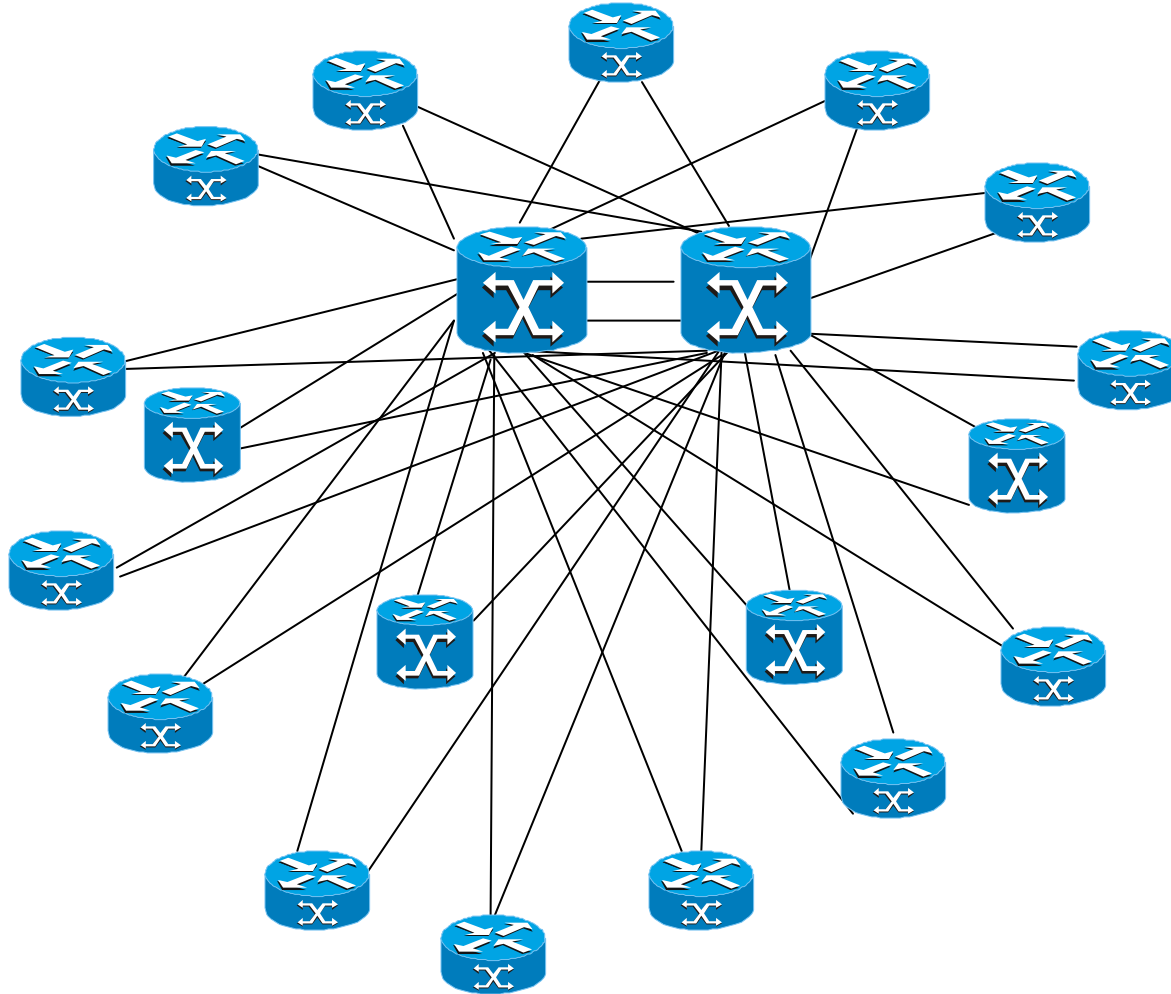
- egyszeres linkhibát elvisel
- védelmi tranzit nincs
- CsP-k közti duplikált link megakadályozza a külső tranzitot

WDM:

- hosszú linkek (erősítetlen hatótávolság?)

Forgalmi skálázhatóság

- Link aggregation (Port Channel)
- erősen szövevényes forgalomnál a CsP-i routerek átbocsájtó képessége korlátozhat



Kétszintű hierarchikus dual-homing

Három pontkategória:

- csillagpont (CsP)
- kiemeltek (K_i)
- többi

Tranzit

- CsP-n, a nem CsP-n eredő/végződő forgalmakra
- kiemeltekben CsP felé is

Redundancia:

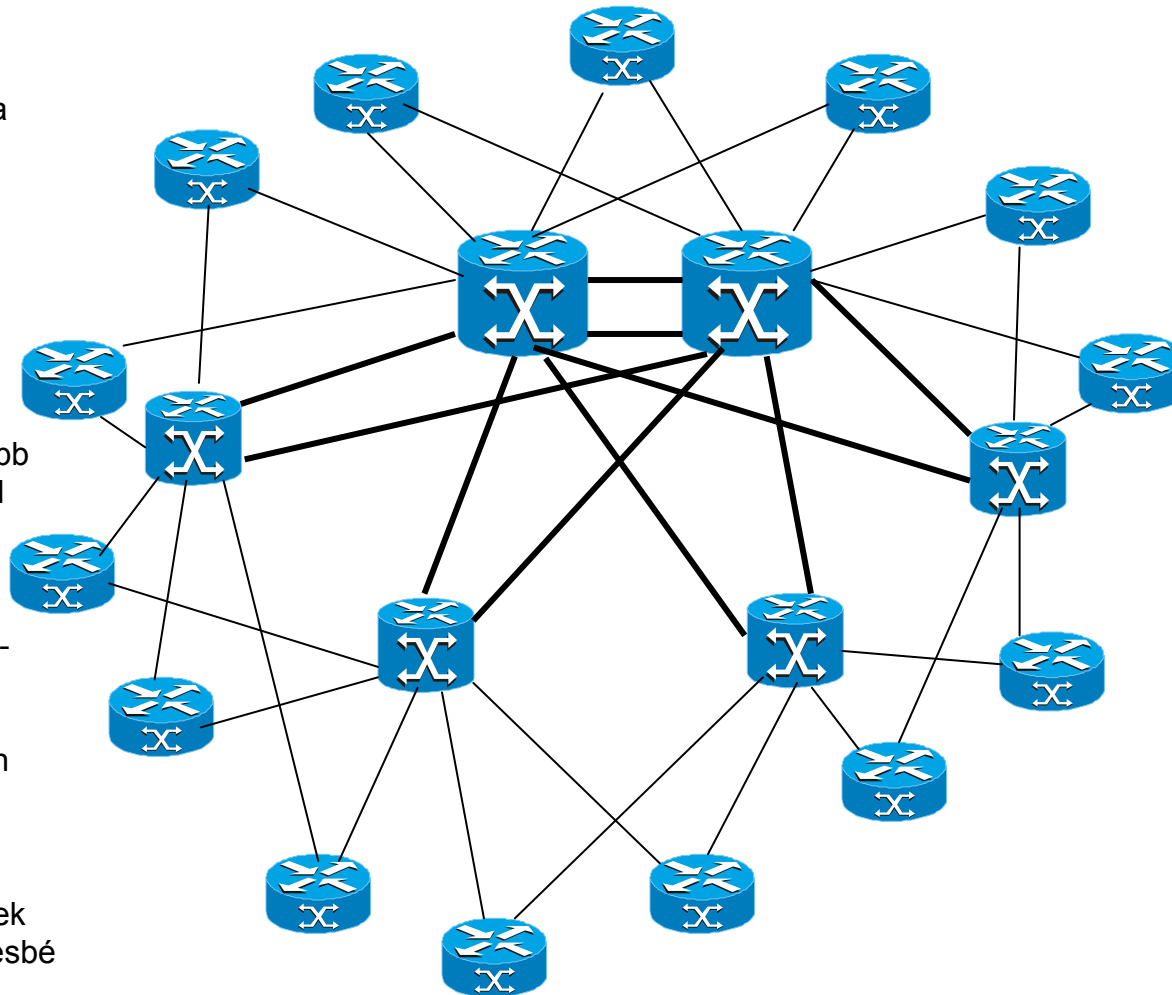
- egyszeres linkhibát elvisel
- védelmi tranzit nincs
- CsP-k közti duplikált link megakadályozza a külső tranzitot

WDM:

- alsó szinten (többi) rövidebb linkek mint kettős csillagnál

Forgalmi skálázhatóság

- Link aggregation (Port Channel)
- szintugrásos linkek (többi-CsP)
- növekvő CsP irányú forgalomnál a kiemeltekben lévő routerek átbocsájtó képessége korlátozhat
- erősen szövevényes forgalomnál a CsP-i routerek átbocsájtó képessége kevésbé korlátoz (kiemeltek lokális tranzitja)



Két pontra felfűzött gyűrűk

Három

pontkategória:

- gyűrűhubok (GyH)
- többi

Tranzit

- GyH-n, a nem GyH-n eredő/végződő forgalmakra

- gyűrűpontként a GyH felé menő

Redundancia:

- egyszeres linkhibát elvisel

- védelmi tranzit a teljes gyűrűforgalom

- GyH-k közti duplikált link megakadályozza a külső tranzitot

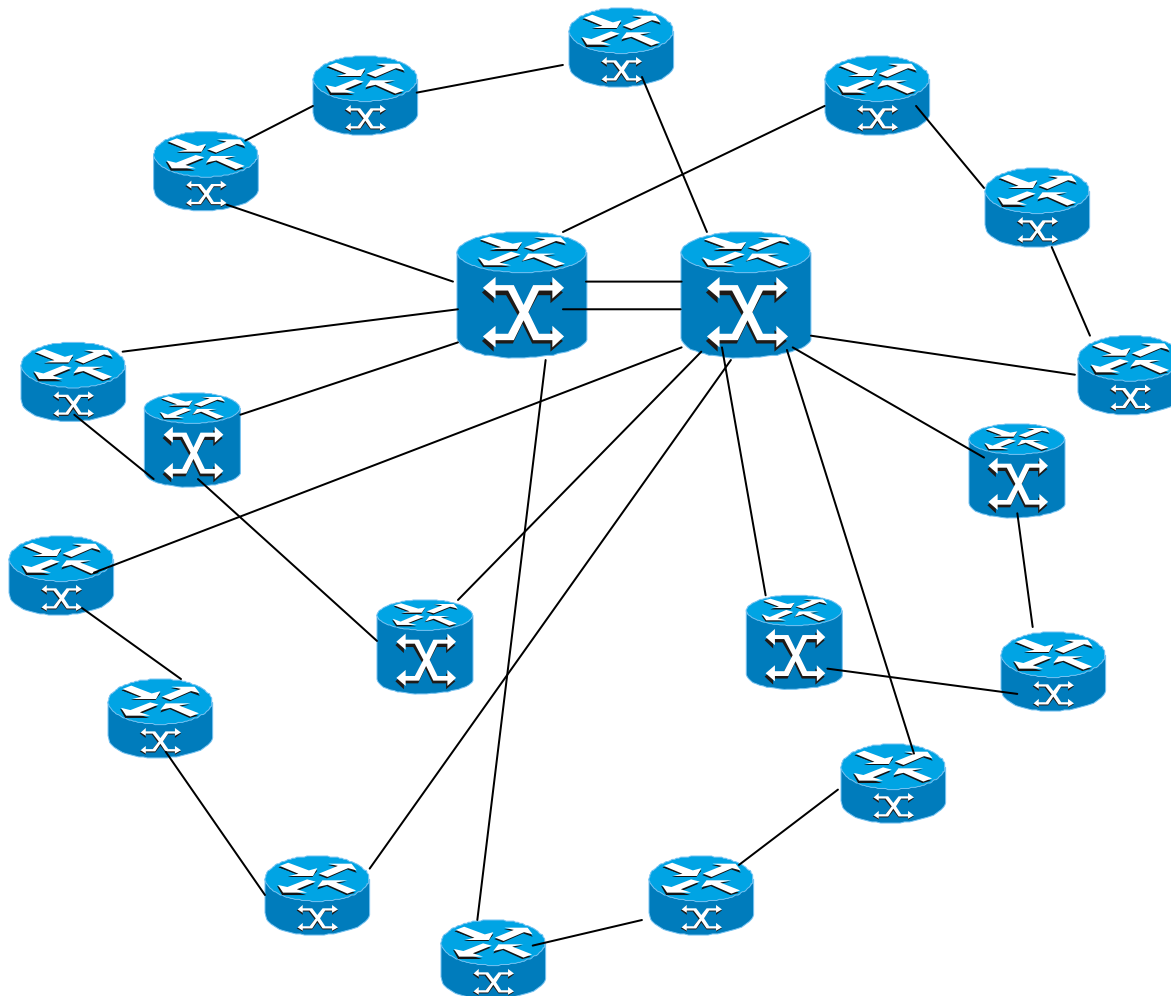
WDM:

- kevesebb hosszú linkl, mint kettős csillagnál

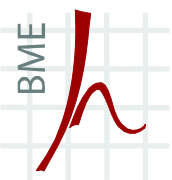
Forgalmi

skálázhatóság

- Link aggregation (Port Channel)
- gyűrűk átvágása



Szövevény-gyűrűk hierarchia



Két pontkategória:

- kiemelt (K)
- szövevénypont (SzP)
- többi

Tranzit

- K-n, a nem K-n
eredő/végződő forgalmakra

- szövevénypontokban K
felé és gyűrűk között is

Redundancia:

- egyszeres linkhibát elvisel
- védelmi tranzit teljes a
gyűrűforgalom
- K-k közti duplikált link
megakadályozza a külső
tranzitot

WDM:

- alsó szinten (többi)
rövidebb linkek mint kettős
csillagnál

Forgalmi skálázhatóság:

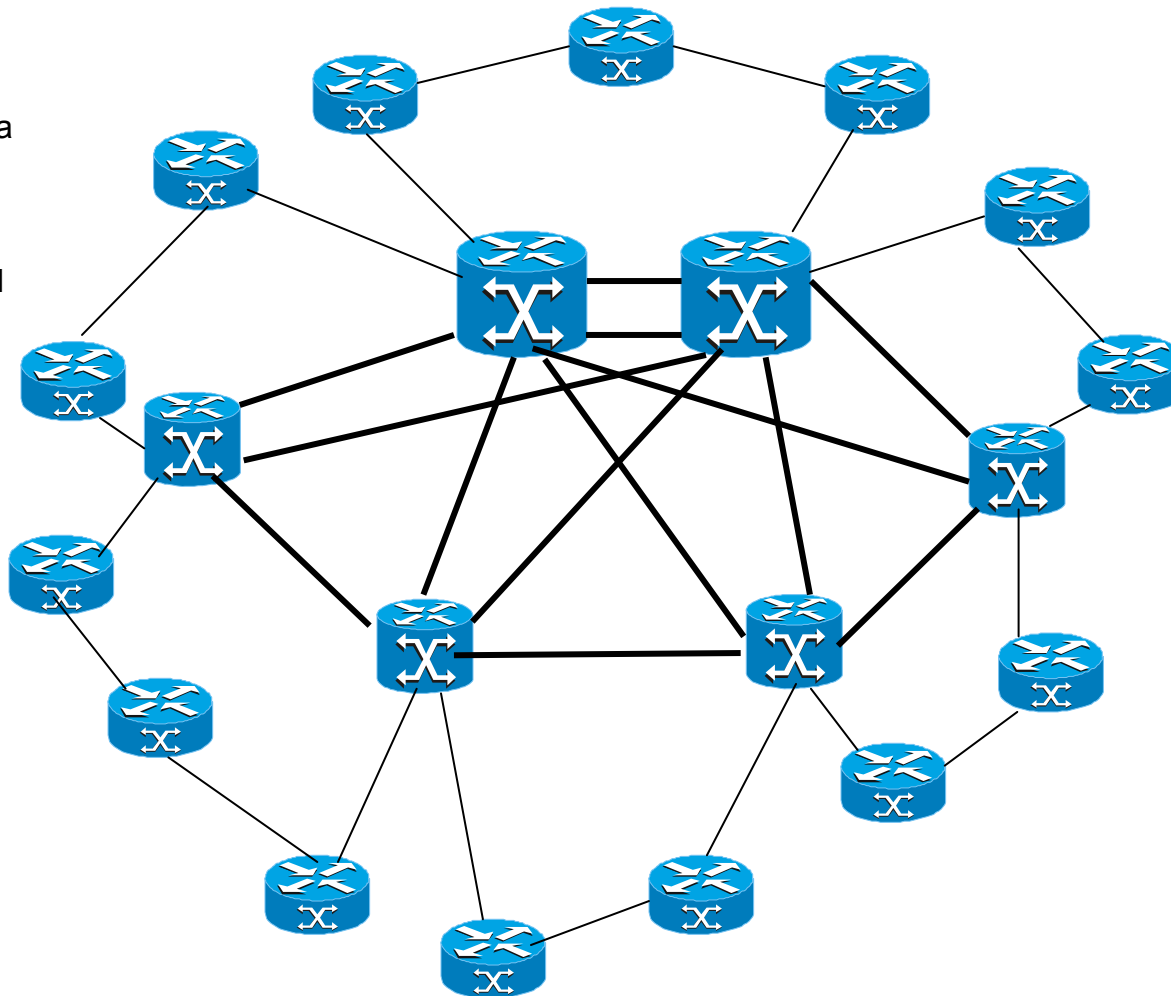
- Link aggregation (Port
Channel)

- gyűrűk átvágása

Második router

- szövevényben árnyék
- gyűrűben soros vagy
stacked

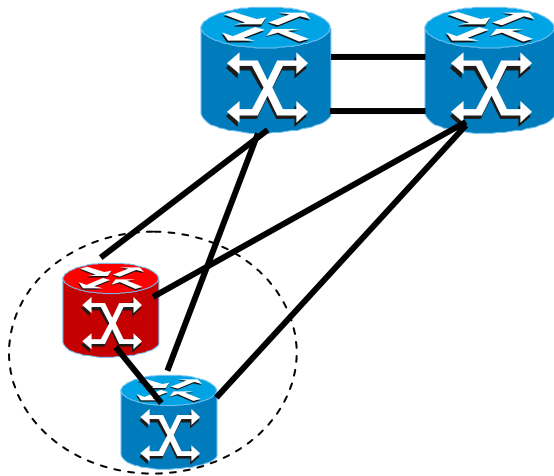
Felfűzés



Duplikált routerek csatlakoztatása

- Redundáns csatlakoztatáshoz két telephelyen gerincrouter
- Hogyan illesztjük a topológiai sémákba?
- Esetek (a séma szerint hogyan csatlakoztatjuk a települést)
 - Két magasabb hierarchiájú pontohoz önállóan (dual attached)
 - árnyék csatlakoztatás
 - Két magasabb hierarchiájú pontohoz gyűrűben (dual homed ring)
 - sorosan (ugyanabban a gyűrűben)
 - párhuzamos, külön gyűrűben (stacked ring)
 - Két magasabb hierarchiájú ponthoz felfűzéssel - nem záródó gyűrűvel (dual homed bus)
 - sorosan (ugyanabban a felfűzésben)
 - párhuzamos, külön felfűzésben

Dual attached -árnyék



Árnyék csatlakoztatás

- településen belül is gerinclin
- erős redundancia (csp. és link)

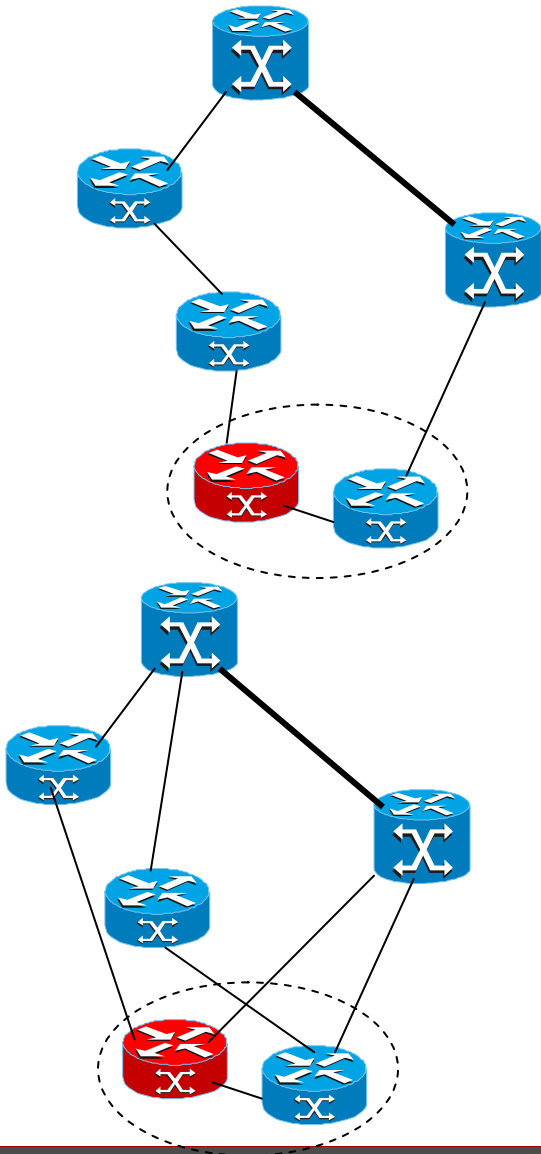
Dual-homed ring

Soros

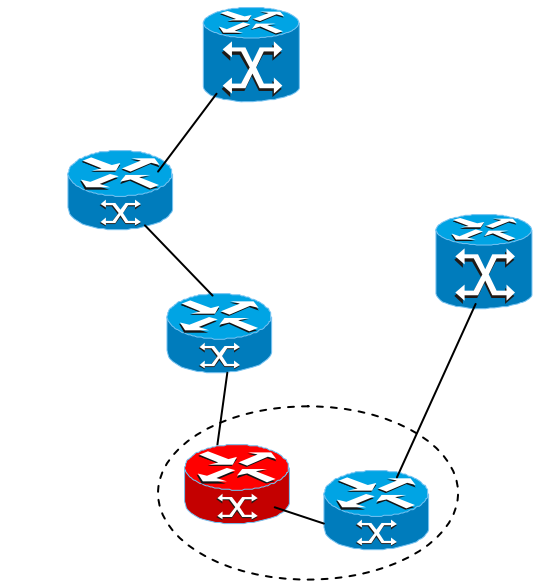
- több csomópontú gyűrűk
- nagyobb tranzitok
- kevesebb link
- kisebb transzportigény

Párhuzamos

- kevesebb csomópontú gyűrűk
- kisebb tranzitok
- több link
- nagyobb transzportigény

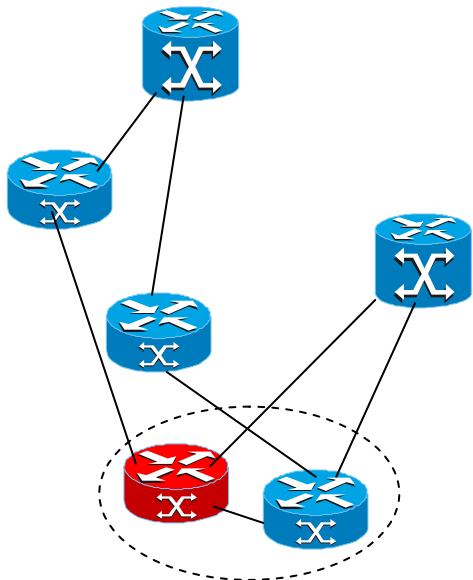


Dual-homed bus



Soros

- több felfűzött csomópont (egy felfűzésen)
- nagyobb tranzitok
- kevesebb link
- kisebb transzportigény



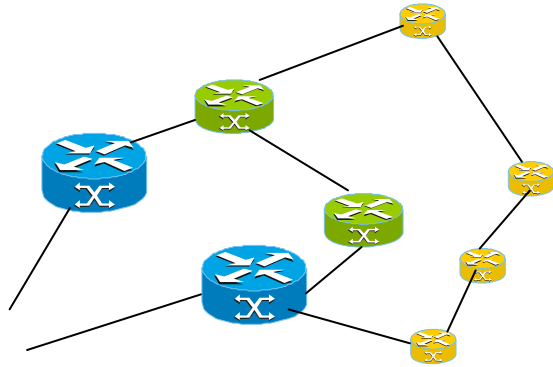
Párhuzamos

- kevesebb felfűzött csomópont (egy felfűzésen)
- kisebb tranzitok
- több link
- nagyobb transzportigény

További pontok csatlakoztatási szempontjai

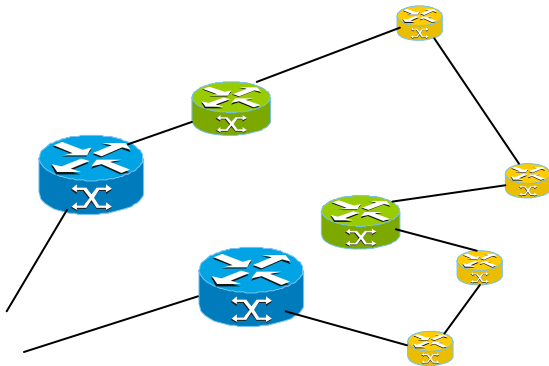
- Kétirányú elérhetőség
- Más jellemzők
 - kisebb forgalom,
 - redukált minőségi követelmények, ha nincs RH
 - kisebb router is megfelelő lehet, milyen tranzitot engedjünk rá (hibamentes és hibás esetekben)
- Csatlakoztatás
 - két magasabb hierarchiájú ponthoz felfűzéssel - nem záródó gyűrűvel (dual homed bus)
 - tiszta hierarchikus struktúrák, további két szint
 - vegyes struktúra, egy további szint
 - duplikált routerek csatlakoztatási elvei
 - sorosan (ugyanabban a felfűzésben)
 - párhuzamos, külön felfűzésben

Felfűzések



Külön felfűzve

- csak saját kategóriájú védelmi tranzit



Közös felfűzésen

- vegyes védelmi tranzit
- a kisebb településeken szükséges router kategóriáját a tranzit határozhatja meg

Néhány kombinált példa

- Az eddigieket építőelemeknek tekintve néhány példa a teljes hálózat lehetséges kialakítására (illusztráció, nincs minden település feltüntetve)

Kettős csillag

Két pontkategória:

-csillagpont (CsP)

-többi

Tranzit:

-csak CsP-n, a nem CsP-n
eredő/végződő forgalmakra

Redundancia:

-egyszeres linkhibát elvisel

- védelmi tranzit nincs

-CsP-k közti duplikált link
megakadályozza a külső

tranzitot

WDM:

-hosszú linkek (erősítetlen
hatótávolság?)

-hosszú linkek (erősítetlen
hatótávolság?)

Forgalmi skálázhatóság

-Link aggregation (Port
Channel)

--erősen szövevényes
forgalomnál a CsP-i routerek

átbocsájtó képessége

korlátozhat

korlátozhat

korlátozhat

korlátozhat

Második router

-dual attached árnyék

Felfűzés

-csak azonos kategóriájú
routerek a tranzit miatt (lent)

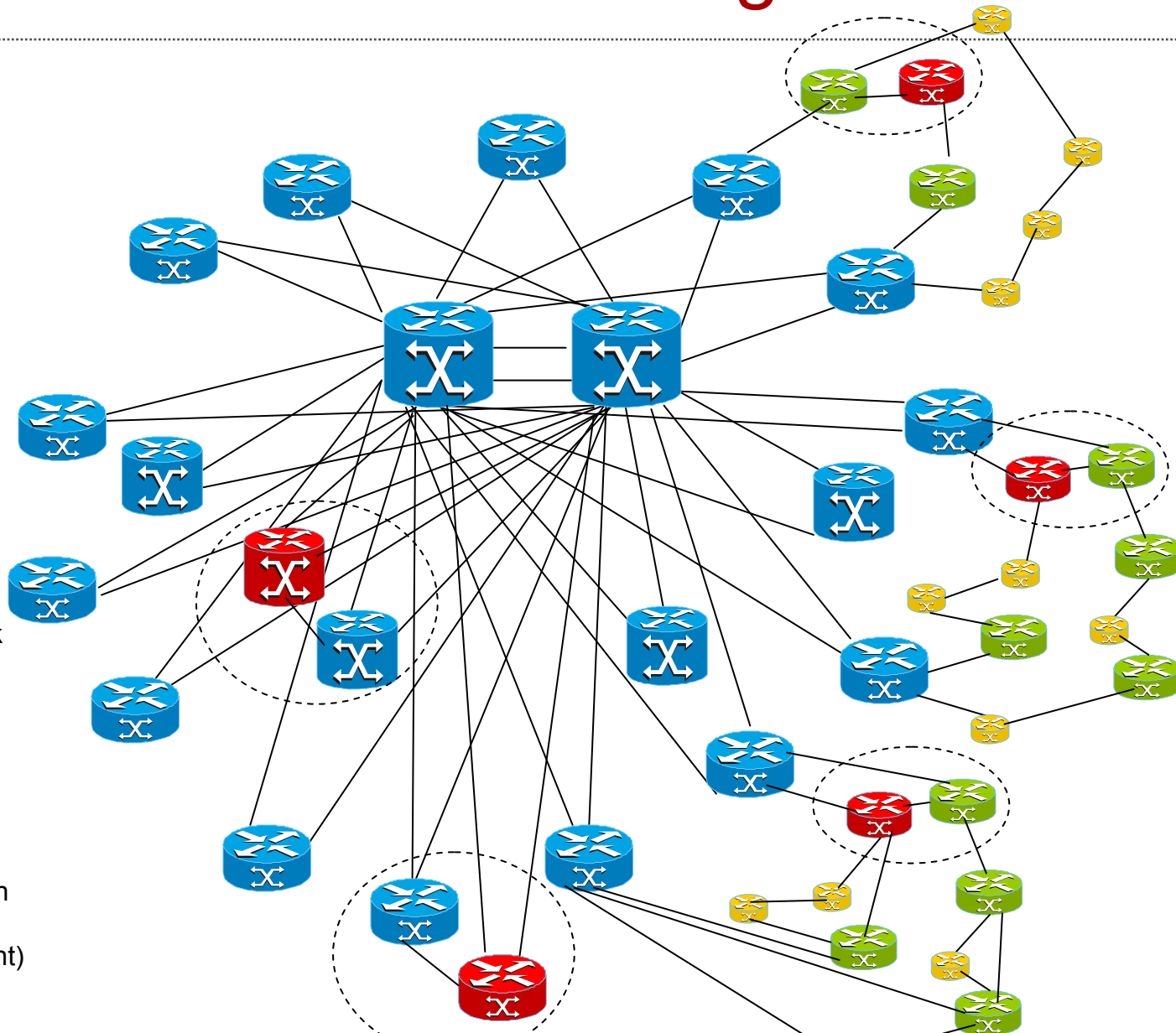
-routerek vegyesen (középen
és fent)

-routerek vegyesen (középen
és fent)

-- második router sorban (fent)

-- második router stacked

ringen (középen és lent)



Kétszintű hierarchikus dual-homing

Hérom pontkategória:

- csillagpont (CsP)
- kiemelt (K_i)
- többi

Tranzit

- CsP-n, a nem CsP-n eredő/végződő forgalmakra
- kiemeltekben CsP felé is

Redundancia:

- egyszeres linkhibát elvisel
- védelmi tranzit nincs
- CsP-k közti duplikált link megakadályozza a külső tranzitot

WDM:

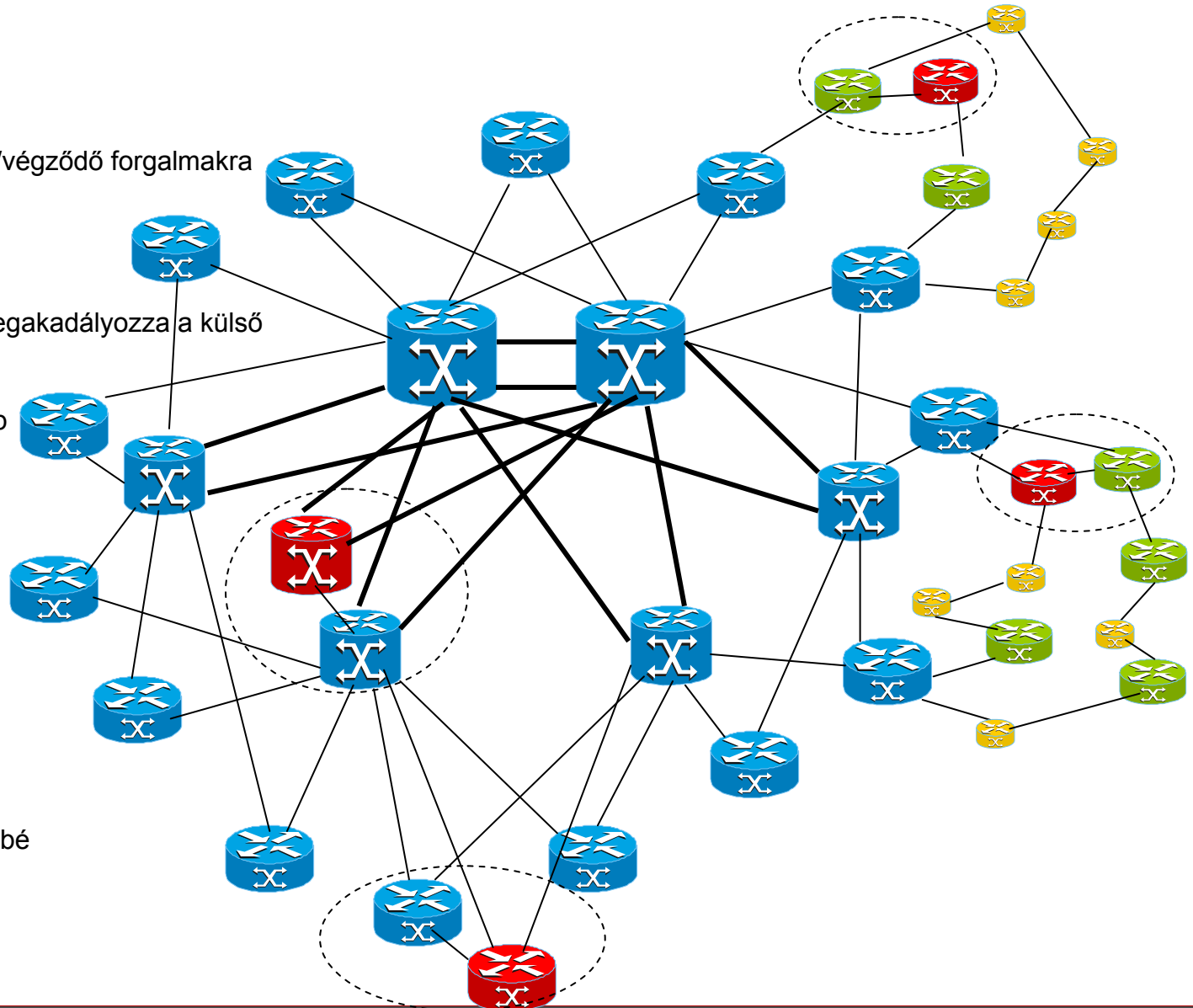
- alsó szinten (többi) rövidebb linkek mint kettős csillagnál

Forgalmi skálázhatóság

- Link aggregation (Port Channel)
- szintugrásos linkek (többi-CsP)
- növekvő Bp irányú forgalomnál a kiemeltekben lévő routerek átbecsajjtó képessége korlátozhat
- erősen szövevényes forgalomnál a bp-i routerek átbecsajjtó képessége kevésbé korlátoz (kiemeltek lokális tranzitja)

Második router (u.a.)

Felfűzés (u.a.)



Két pontra felfűzött gyűrűk

Három pontkategória:

- gyűrűhubok (GyH)
- többi

Tranzit

- GyH-n, a nem GyH-n eredő/végződő forgalmakra
- gyűrűpontoként a GyH felé menő

Redundancia:

- egyszeres linkhibát elvisel
- védelmi tranzit a teljes gyűrűforgalom
- GyH-k közti duplikált link megakadályozza a külső tranzitot

WDM:

- kevesebb hosszú link, mint kettős csillagnál

Forgalmi skálázhatóság

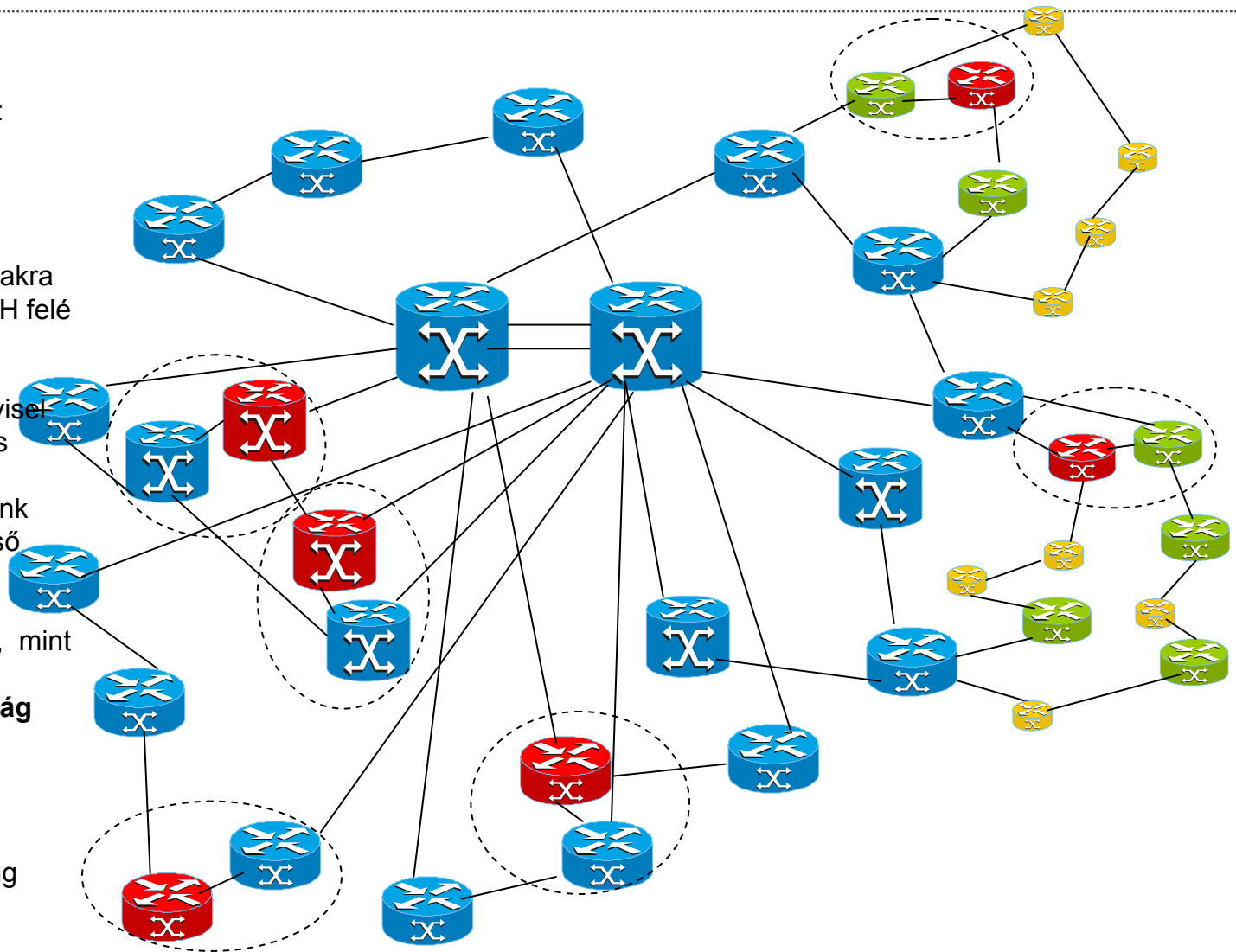
- Link aggregation (Port Channel)

- gyűrűk átvágása

Második router

- soros vagy stacked ring

Felfűzés (u.a.)



Szövevény-gyűrűk hierarchia

Két pontkategória:

- Bp
- kiemelt (Gy, Pé, Sze, De)
- többi

Tranzit

- Bp-n, a nem Bp-n eredő/végződő forgalmakra
- kiemeltékben Bp felé és gyűrűk között is

Redundancia:

- egyszeres linkhibát elvisel
- védelmi tranzit teljes a gyűrűforgalom
- Bp-k közti duplikált link megakadályozza a külső tranzitot

WDM:

- alsó szinten (többi) rövidebb linkek mint kettős csillagnál

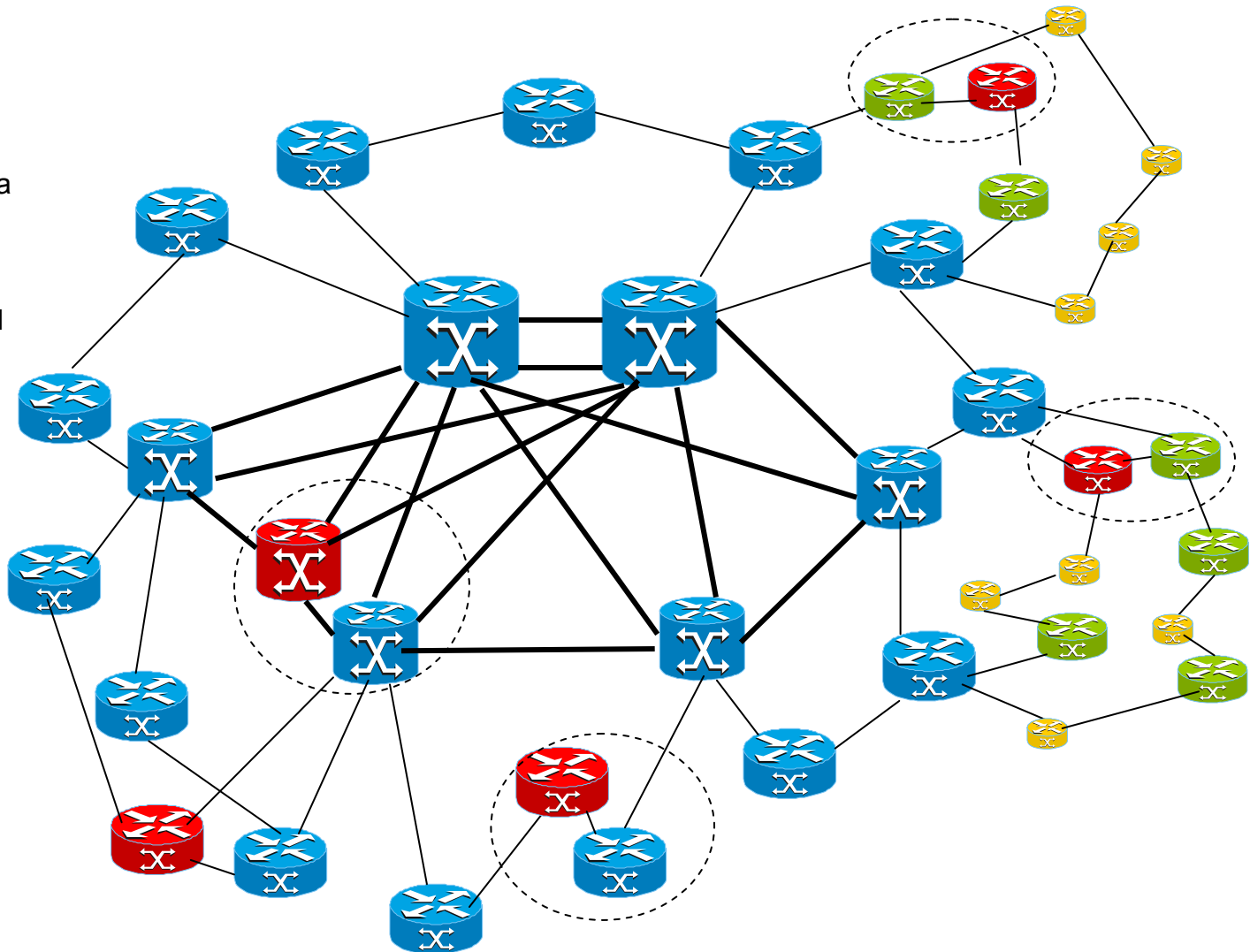
Forgalmi skálázhatóság:

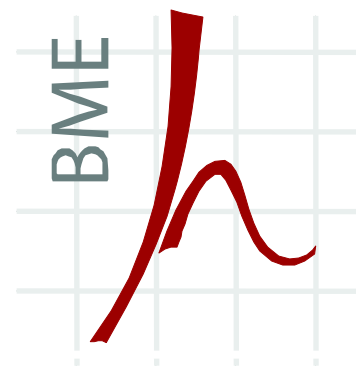
- Link aggregation (Port Channel)
- gyűrűk átvágása

Második router

- szövevényben árnyék
- gyűrűben soros vagy stacked

Felfűzés (u.a)

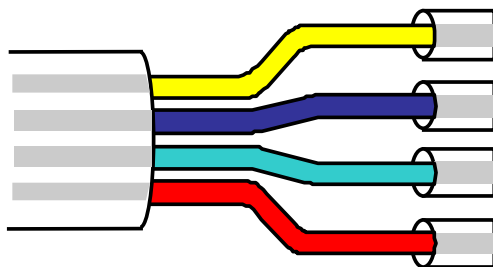




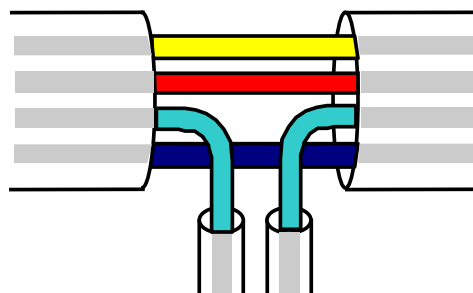
WDM hálózat csomóponti funkciói

- optikai erősítés, jelformálás
- regenerálás
- hullámhossz transzponálás
- hullámhossz konvertálás
- multiplexálás/demultiplexálás
- leágazás (add-drop)
- rendezés (cross-connect)
- kapcsolás (vonal, csomag)
- menedzselés

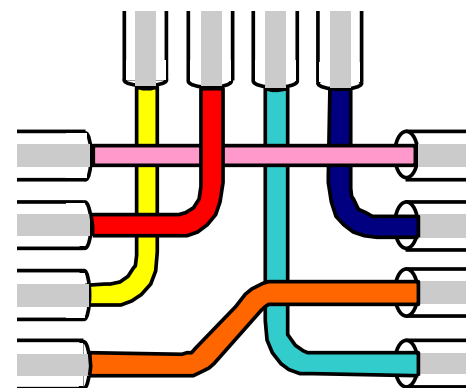
Hálózati funkciók



a.) multiplexálás

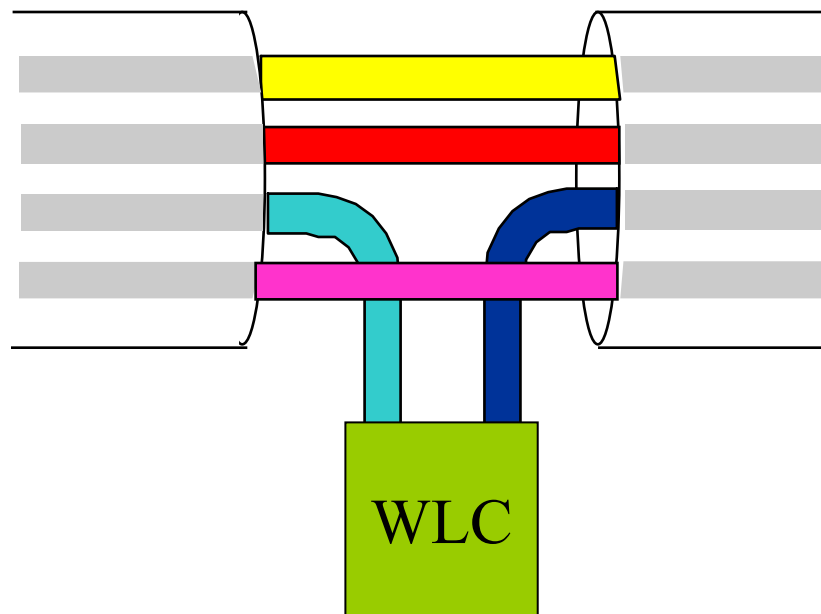


b.) leágazás



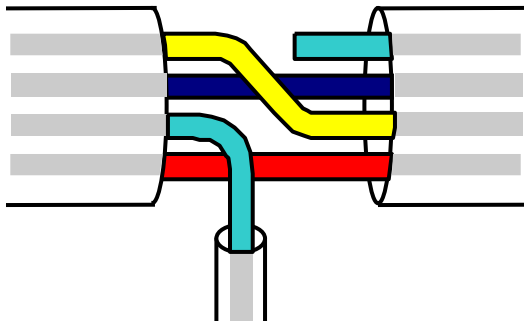
c.) rendezés

Hálózati funkciók

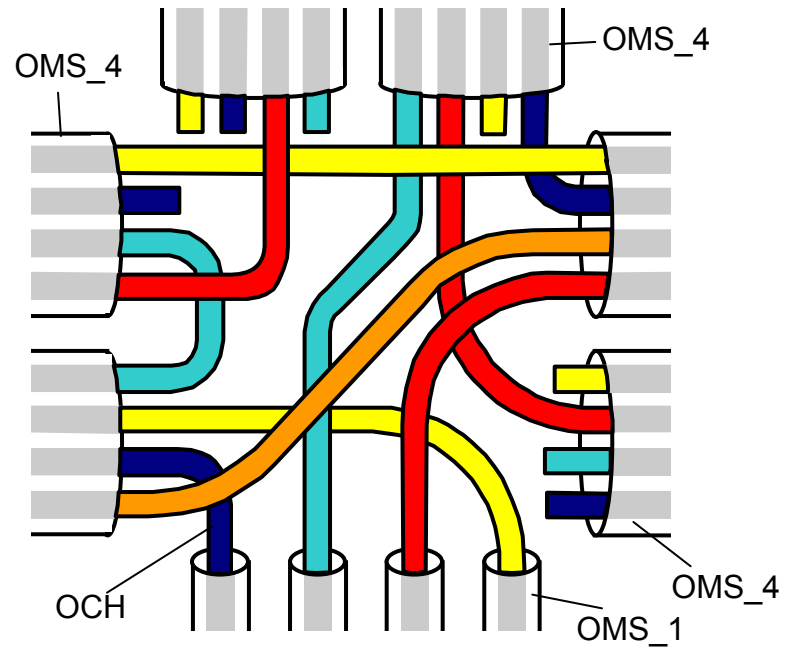


d.) hullámhossz-konverzió

Összetett hálózati funkciók



a.) leágazó multiplexer rendezéssel



b.) rendező

- SCM: Sub-Carrier Multiplexing
- OTDM: optikai időosztásos multiplexálás
- OCDM optikai kódosztásos multiplexálás

- **OFDM/WDM:frekvencia/hullámhossz osztású multiplexálás**
(WDM, DWDM, CWDM)

Optikai regenerálás

- **1R:** erősítés
- **2R:** erősítés +jelformálás
- **3R:** erősítés+jelformálás +újraidőzítés

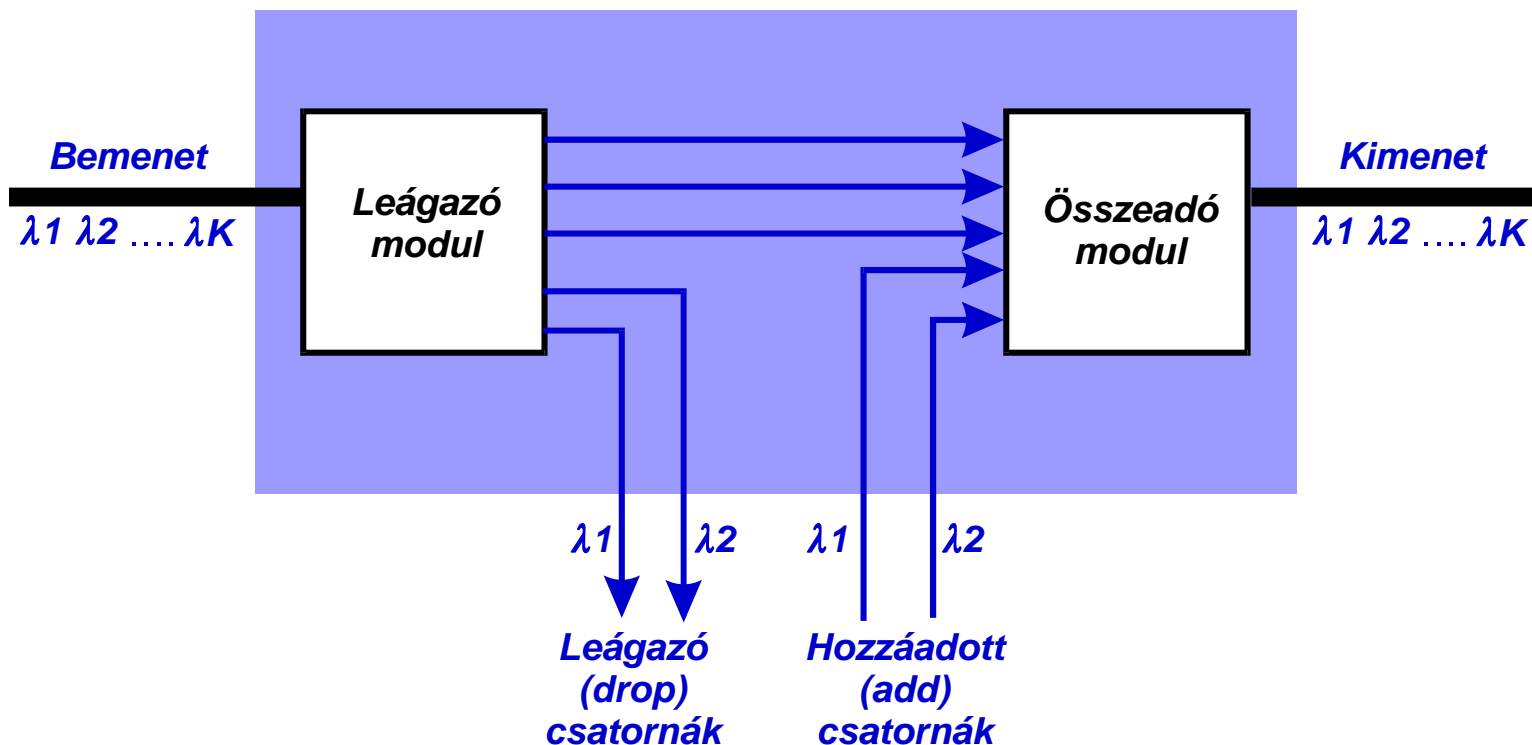
Megvalósítás:

- **1R:** optikai erősítő
- **2R:** optikai erősítő +optikai amplitúdó korr. + diszp. komp.
- **3R:** **2R** +elektronikus újraidőzítés

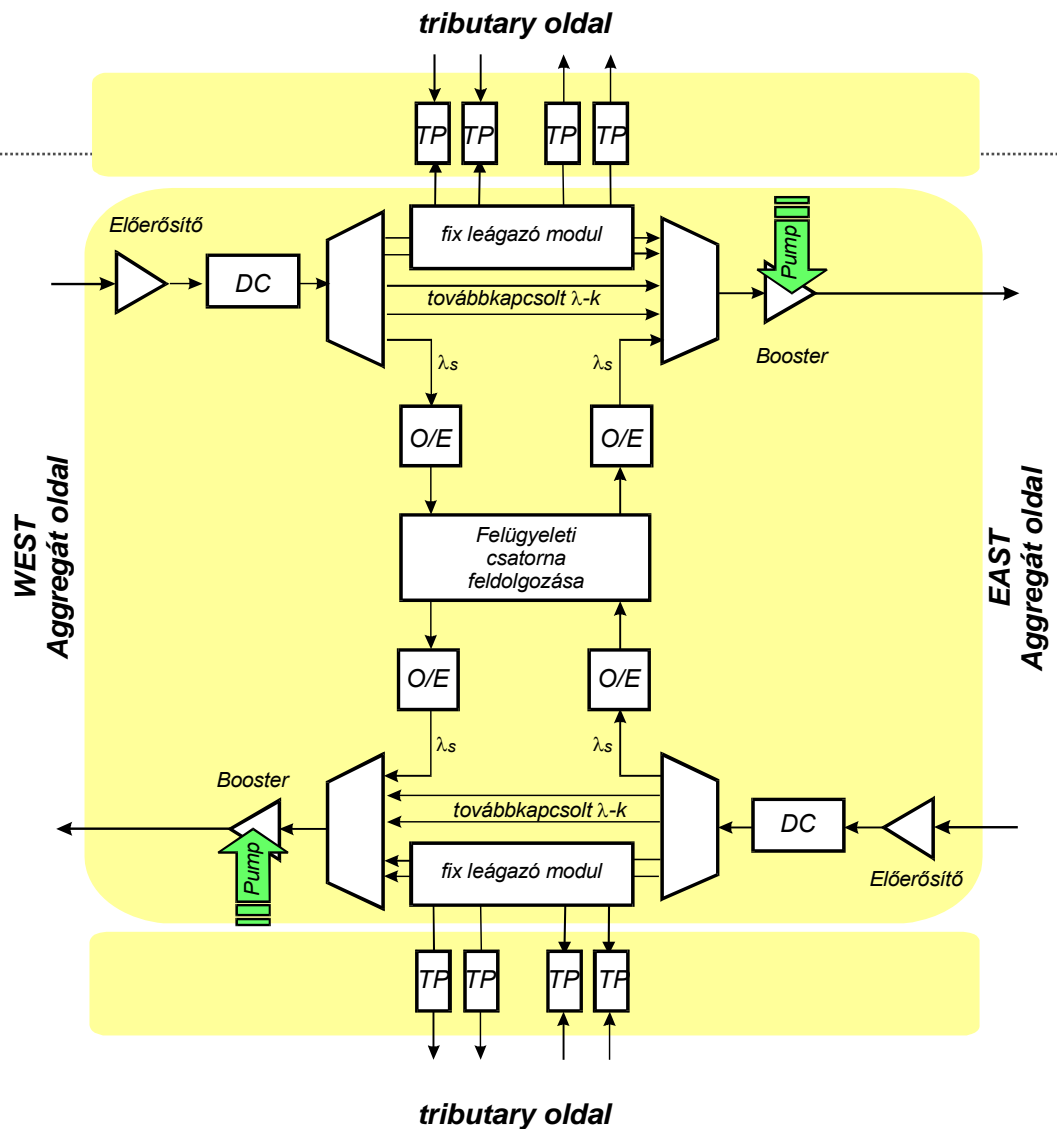
- Optikai végződő multiplexer (OTM)
- Optikai leágazó multiplexer (OADM)
- Optikai vezérelt rendező (OXC)
- Optikai erősítő (OA)

- Fix konfigurációjú OADM: passzív optikai elemekkel
- dinamikusan konfigurálható OADM
- Jellemzők:
 - sorbakapcsolható OADM-ek száma
 - teljes rendezhetőség
 - transzparencia
 - hullámhossz újrarahasznosítási lehetőség
- Korlátok:
 - beiktatási csillapítás
 - csatorna áthallás
 - csatorna stabilitás

Fix konfigurációjú OADM

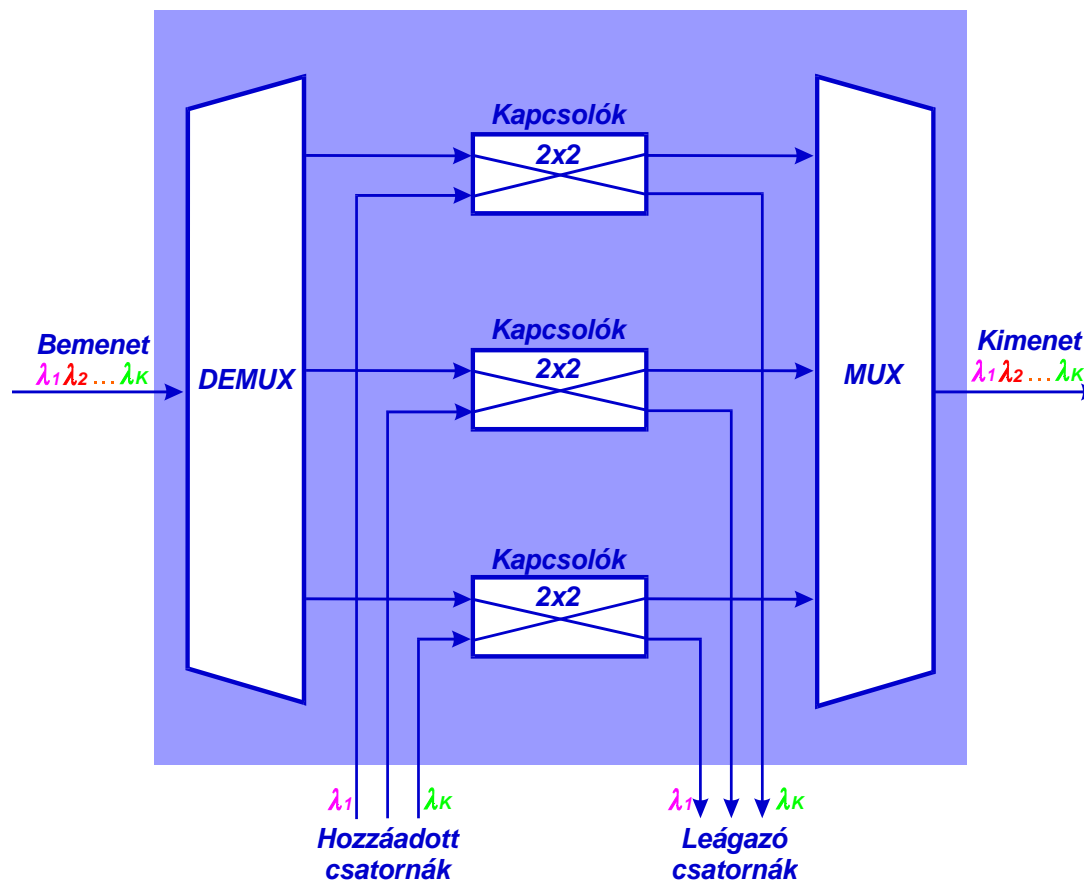


Fix OADM

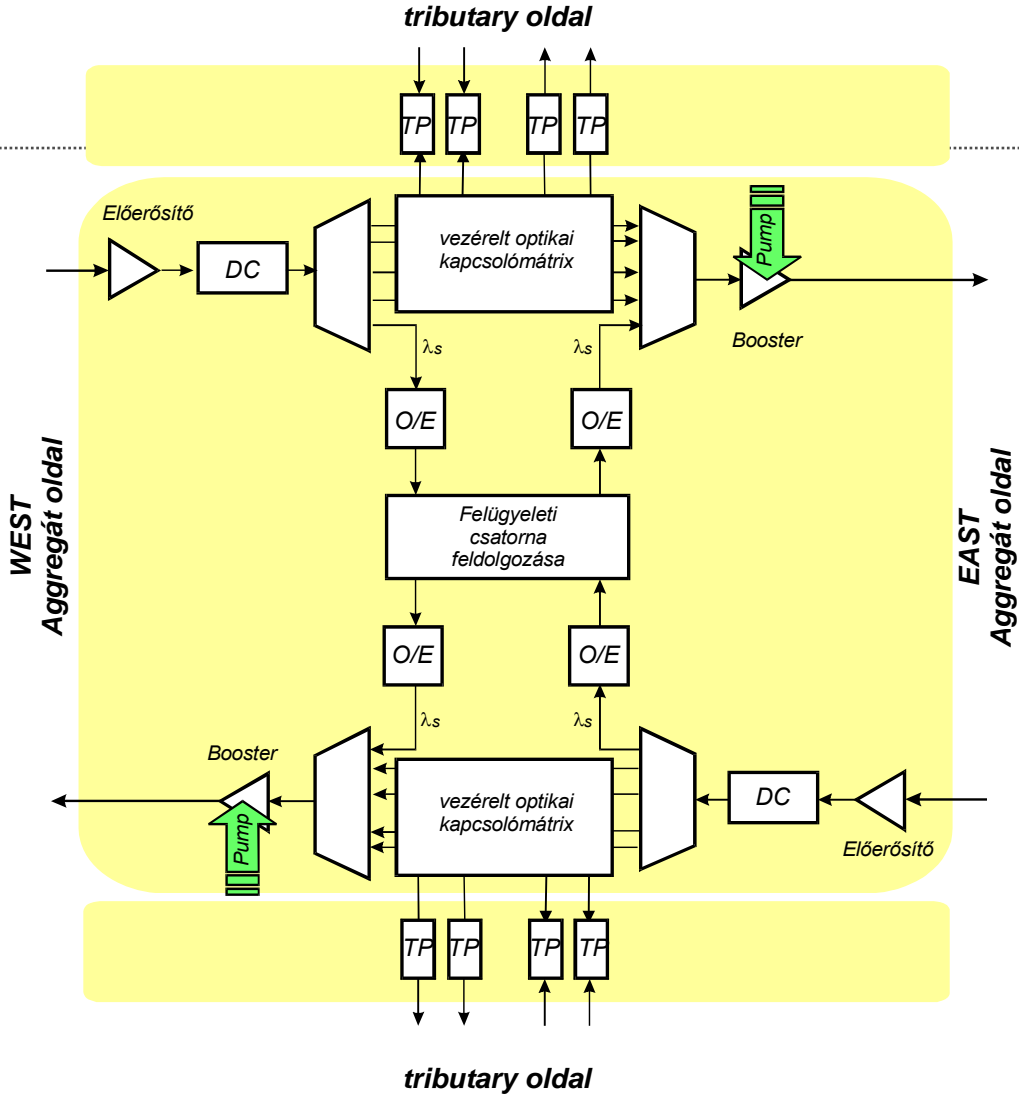


- DC: Diszperzió kompenzálás
- O/E: Optikai / elektromos átalakítás
- λ_s : Felügyeleti csatorna hullámhossza
- TP : Transzponder

Dinamikusan konfigurálható OADM



Flexibilis OADM

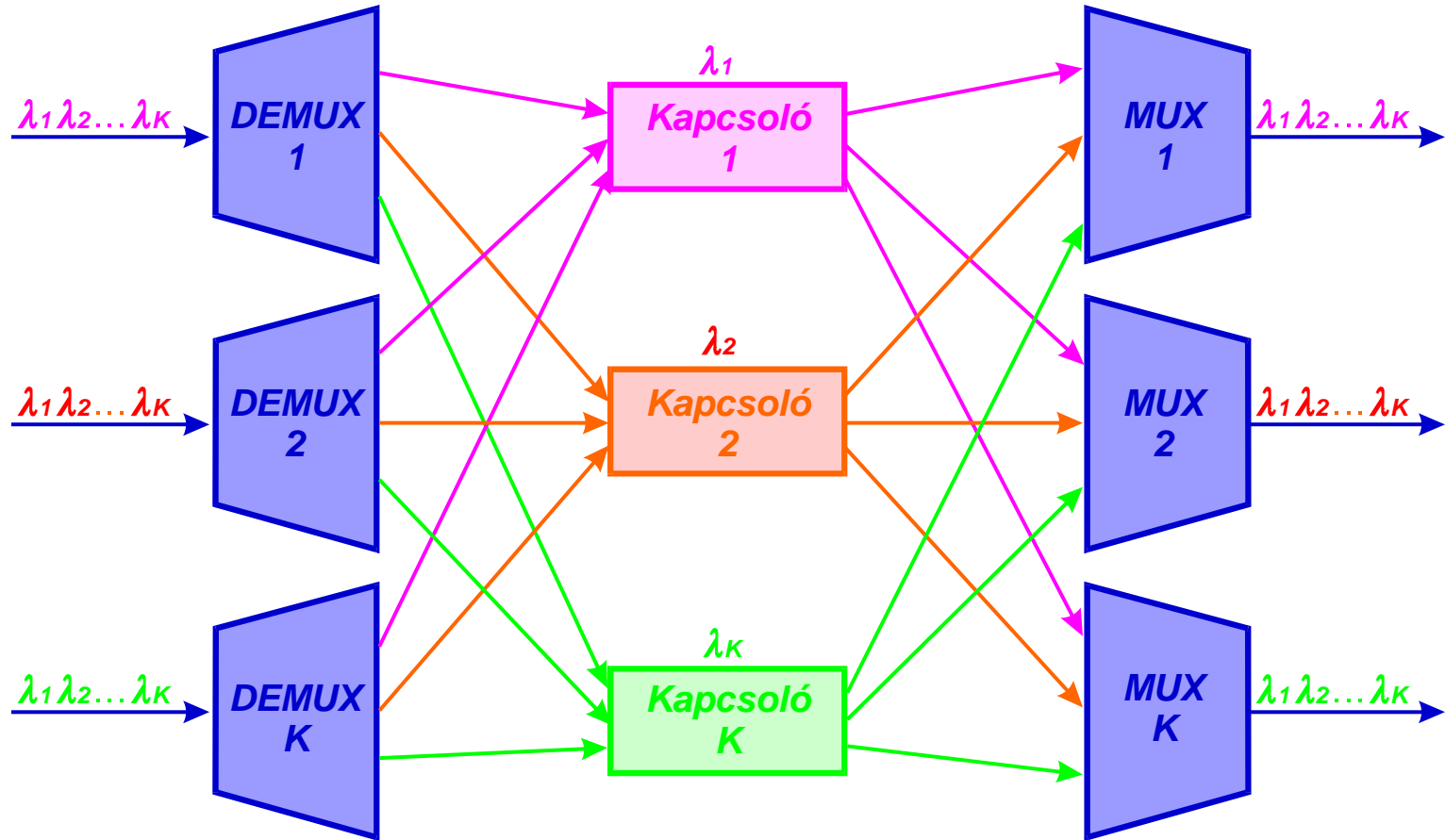


- DC: Diszperzió kompenzálás
- O/E: Optikai / elektromos átalakítás
- λ_s : Felügyeleti csatorna hullámhossza
- TP : Transzponder

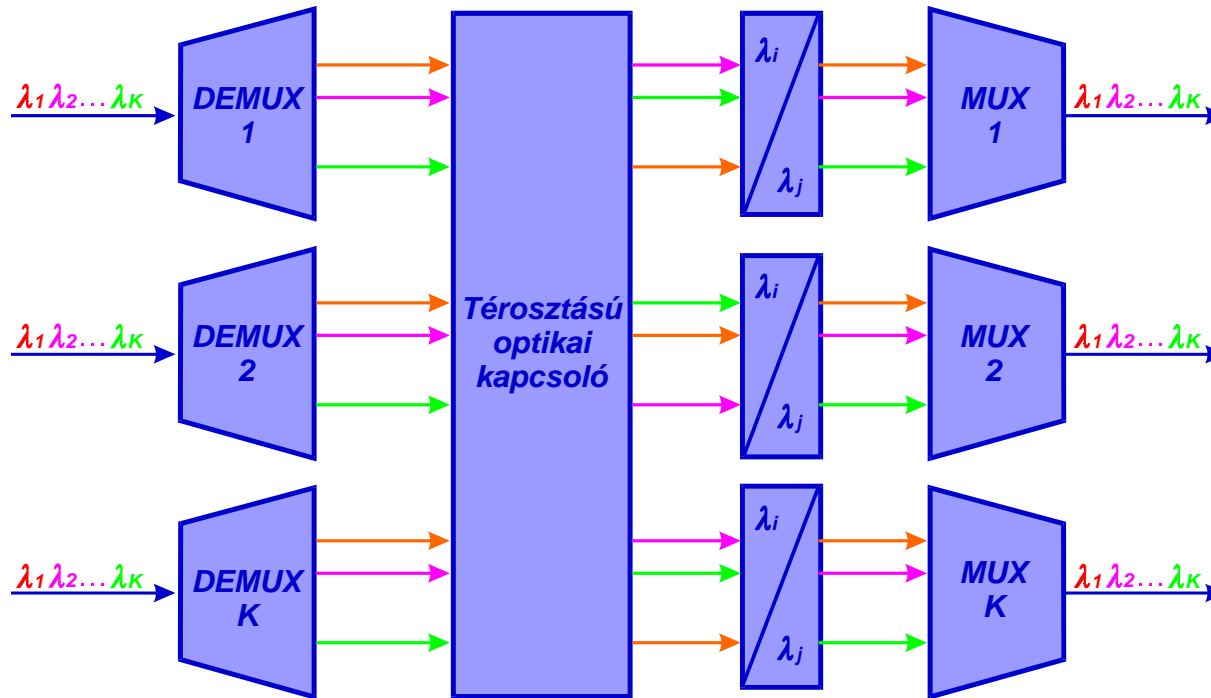
Optikai vezérelt rendező (OXC)

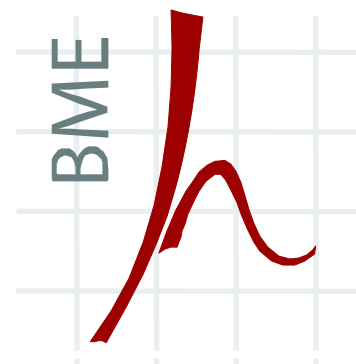
- Passzív optikai útvonal irányítók: hullámhossz routerek
- Funkció: tér- és hullámhossz-kapcsolás hullámhossz- konverzióval, vagy anélkül.
- 3R regenerálás esetén nincs optikai transzparencia
- Granularitás: hullámhossz (kiegészíthető SDH VC-4 DXC-vel)
- gyártmány: pl. Lucent WaveStar (MEMS)
- Alkalmazási lehetőség: szövevényes optikai hálózatokban
- Korlátok: technológiai, gazdaságossági, hálózattervezési

Optikai rendező (OXC)



OXC hullámhossz konverzióval

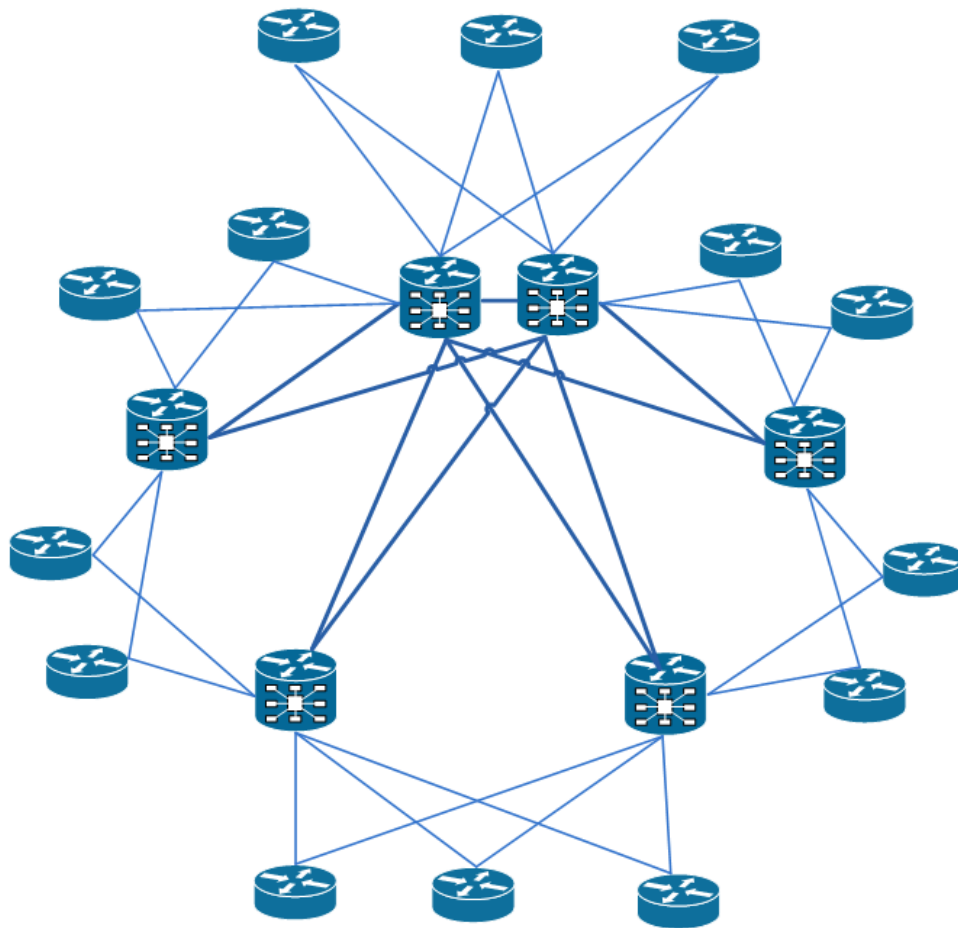




NKKI IP gerinchálózati szerkezeti változatok

- **Két logikai topológiai változat**
 - Hierarchikus dual homing három szinten
 - Budapest
 - Győr, Pécs, Szeged, Debrecen
 - megyeszékhelyek (megyei jogú városok)
- **Két pontra felfűzött gyűrűk**
 - közös pontok: Budapest
 - felfűzések: megyeszékhelyek (megyei jogú városok) 3-4 tagú gyűrűi

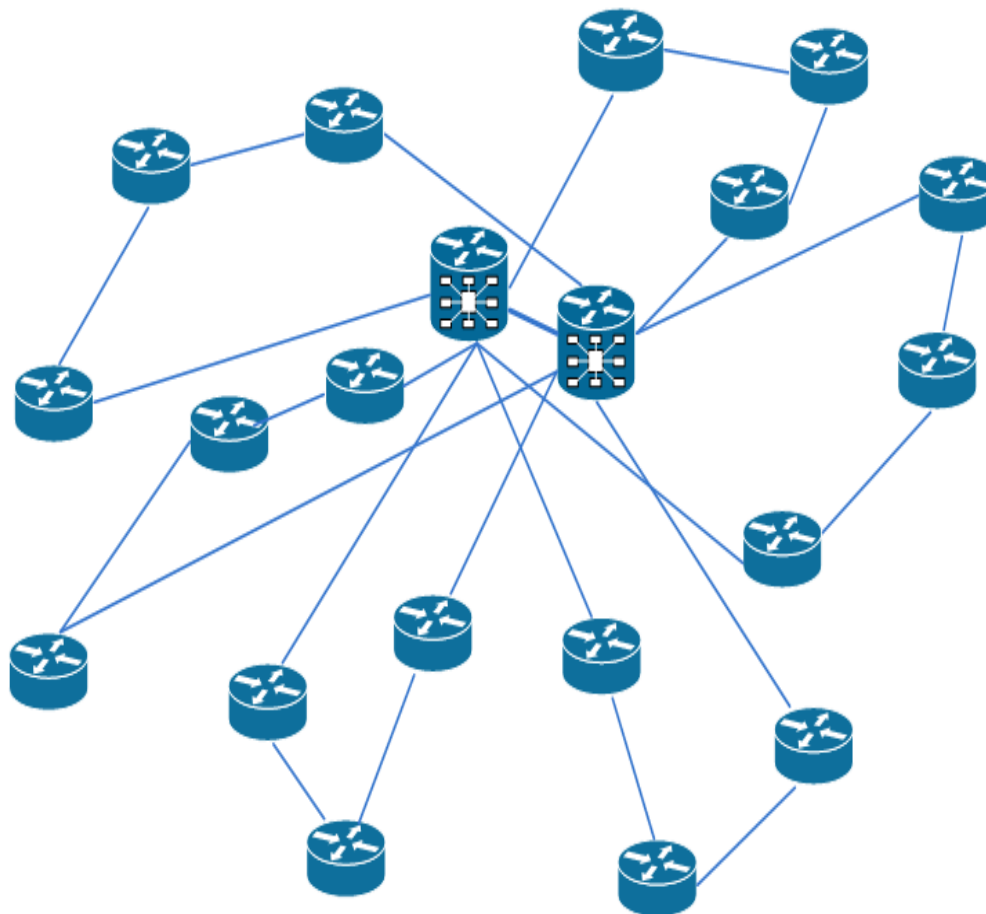
Hierarchikus dual homing

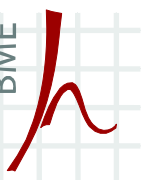


Hierarchikus dual homing

- Mag: négy router(Gy, P, Sz,D) dupla csillagban csatlakoztatva két központihoz (BP), amelyek duplán összekötve
- Többi: dual homing két-két magrouterre
- Linkek száma:
 - Mag: $(6-1)*2=10$
 - Többi: $14*2=28$
- Hierarchikus szétválasztás teljesül
- Fokozatos kiépíthetőség, routerek egyenként bekapcsolhatók (mag, többi sorrend)

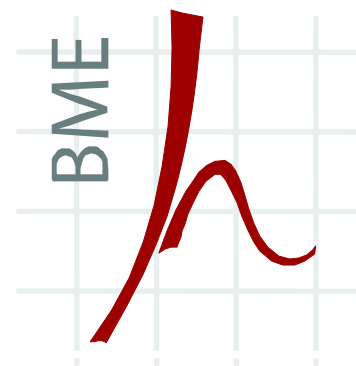
Két pontra felfűzött gyűrűk





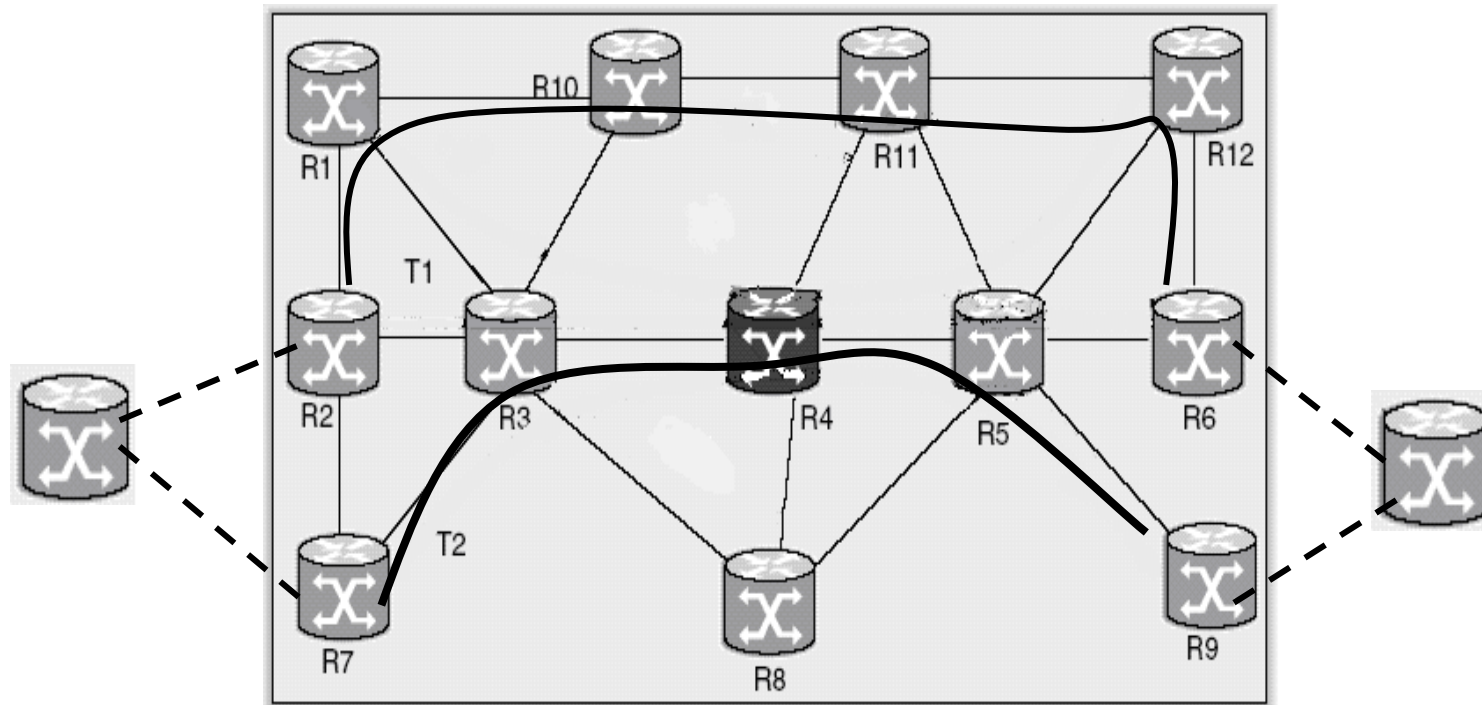
Két pontra felfűzött gyűrűk

- Mag: négy router(Gy, P, Sz,D) dupla csillagban csatlakoztatva két központihoz (BP), amelyek duplán összekötve
- Többi: 6 egyenként 2 vagy 3 pontból felfűzés két-két mag routerre csatlakoztatva (dual homing)
- Linkek száma
 - Mag: $(6-1)*2=10$
 - Többi: $2*(3+1)+4*(2+1)=20$
- Hierarchikus szétválasztás teljesül
- Fokozatos kiépíthetőség, felfűzésenként (mag, többi sorrend)

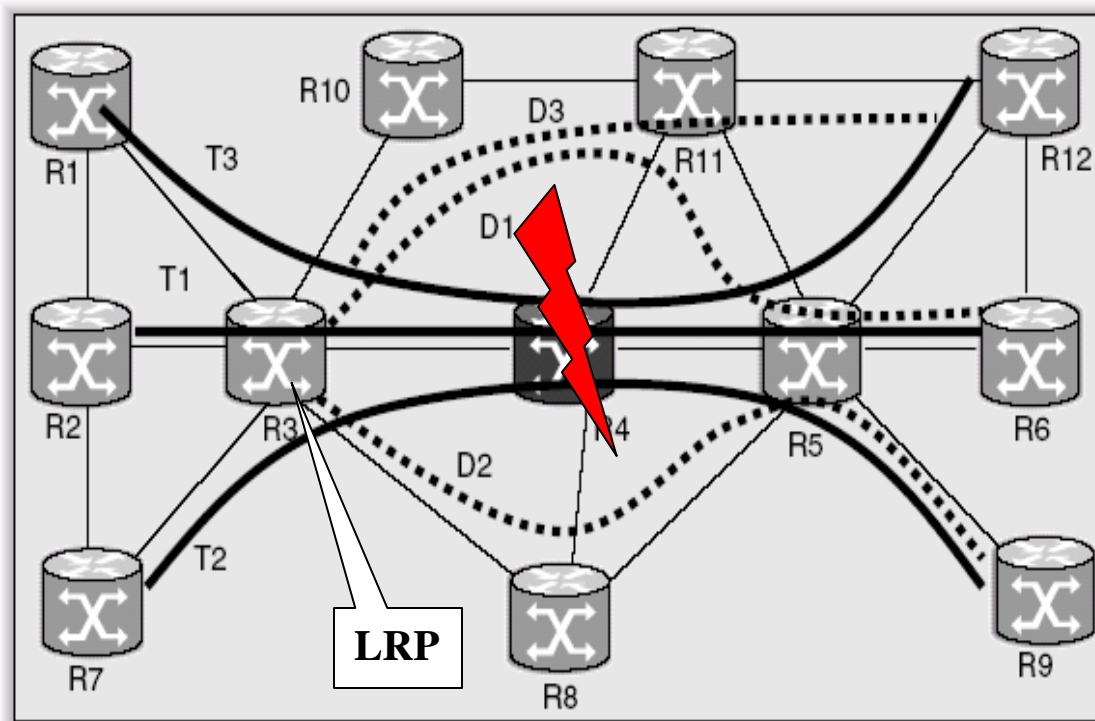


IP/MPLS TE alapú védelmi sémák

SRLG-független LSP pár



Fast Reroute One-to-One Backup



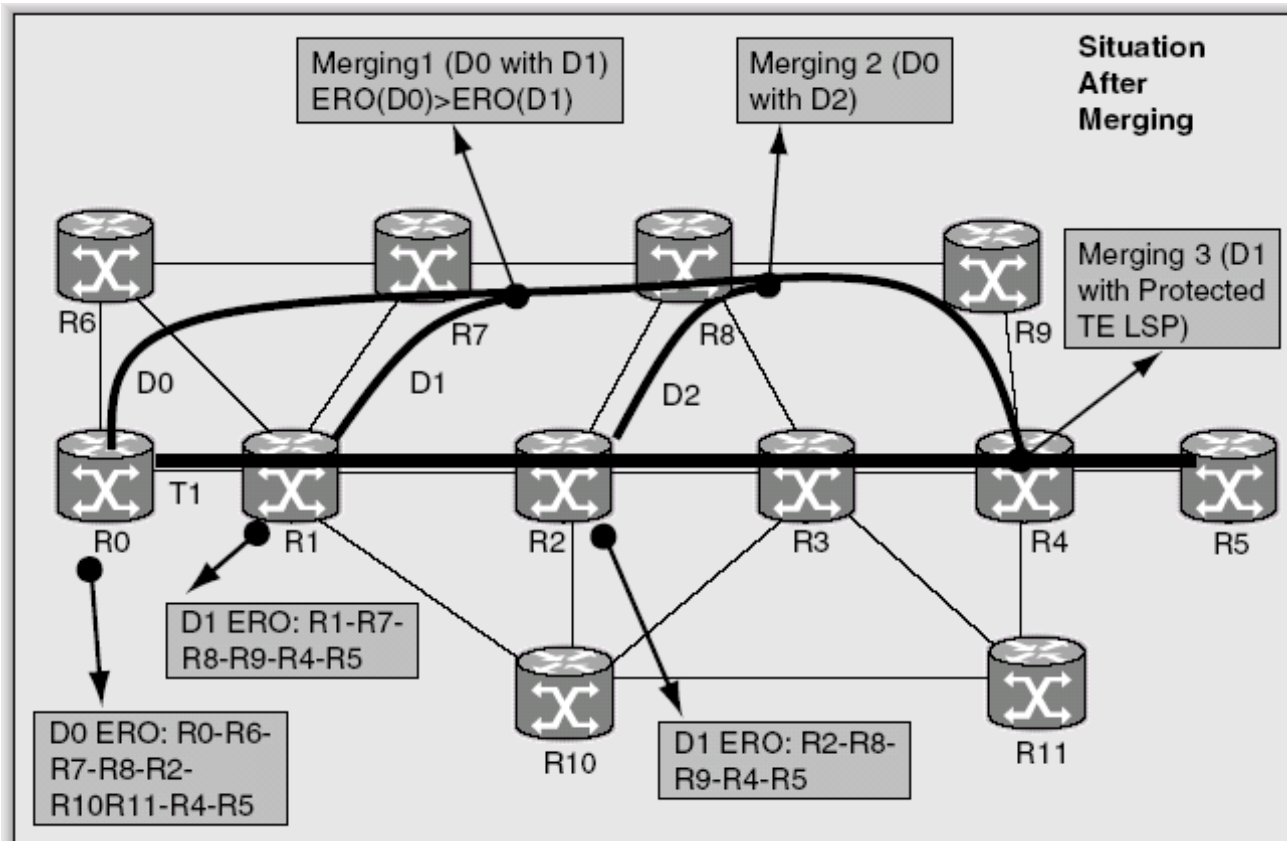
Út alapú – pontosabban útszakasz alapú – védelem:

- minden védett úthoz külön-külön tartalékutak előre konfigurálva (címkekiosztás)
- a helyreállítási pont és a végpont közti útszakaszra (egy-egy úthoz több LRP és tartalékút is megadható)

LRP – Local Restoration Point – a védelmi átkapcsolás helye:

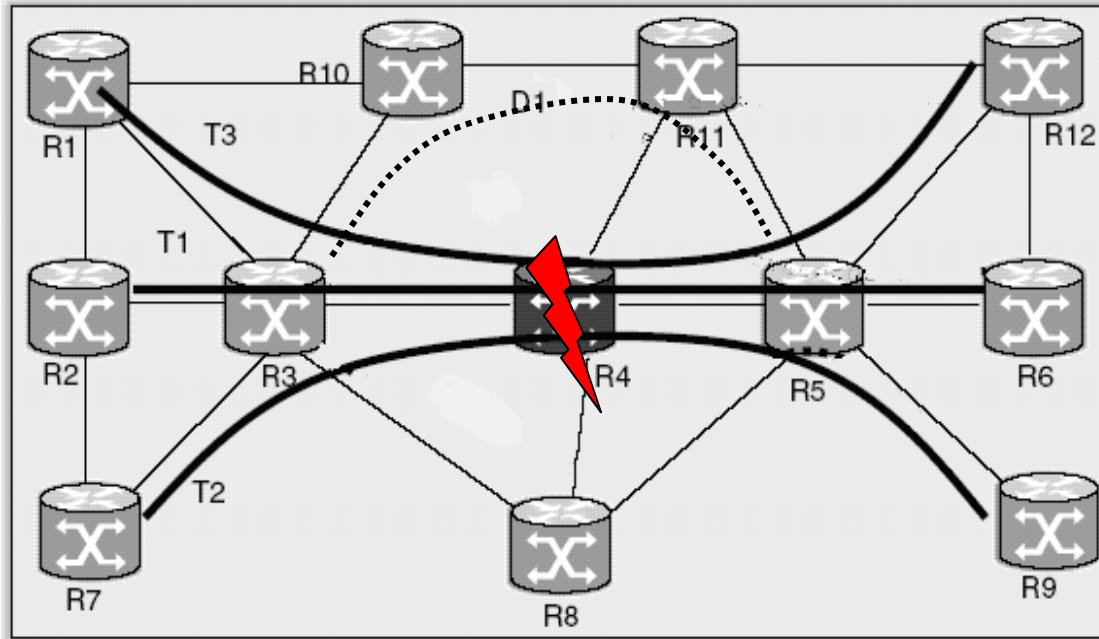
- ide kell eljuttatni a hibajelzést, és
- itt történik meg a forgalom tartalékútra terelése

Fast Reroute One-to-One Backup LSP merging



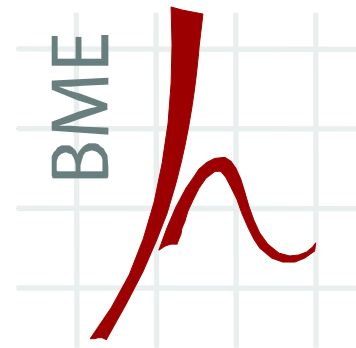
Azonos kiszolgálást igénylő, nyomvonzaszakaszú utak összefogása hierarchikus címkéket alkalmazva üzemeltetési megfontolás (kevesebb címke, kevesebb bejegyzés az úttáblában)

Fast Reroute Facility Backup



szakaszon alapú védelem, közös tartalékszakaszon a meghibásodás miatt megszakadt útszakasz kerülésére (több út közös szakaszára egy közös kerülő)

gyakorlatilag egy alagút a hibát határoló LSR-ek között hierarchikus címkéket alkalmazva

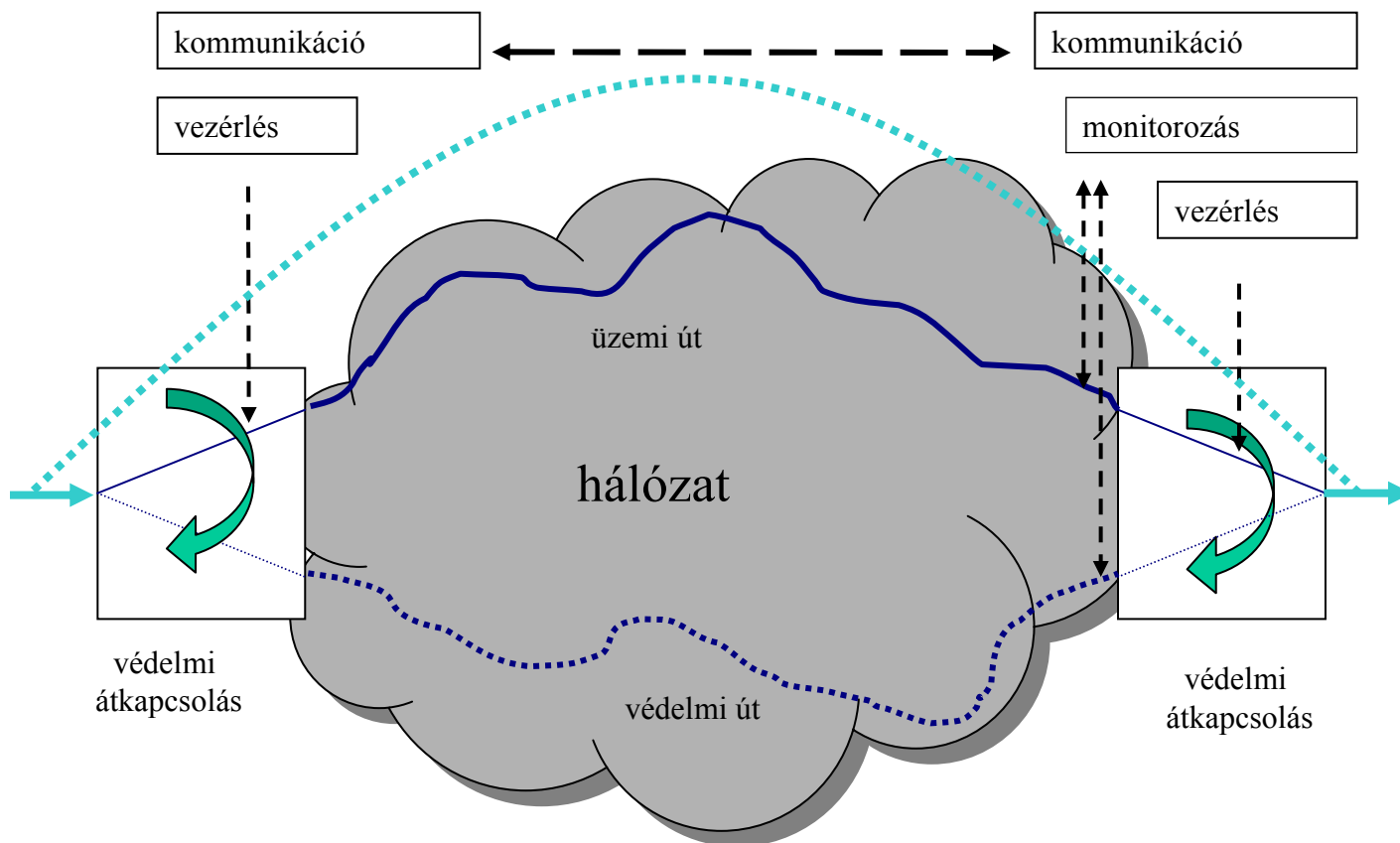


Kiegészítés WDM tervezéshez: További védelmi sémák hatása a hullámhossz-kiosztásra

m:n védelmi kapcsolat

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

1:1 védelmi séma



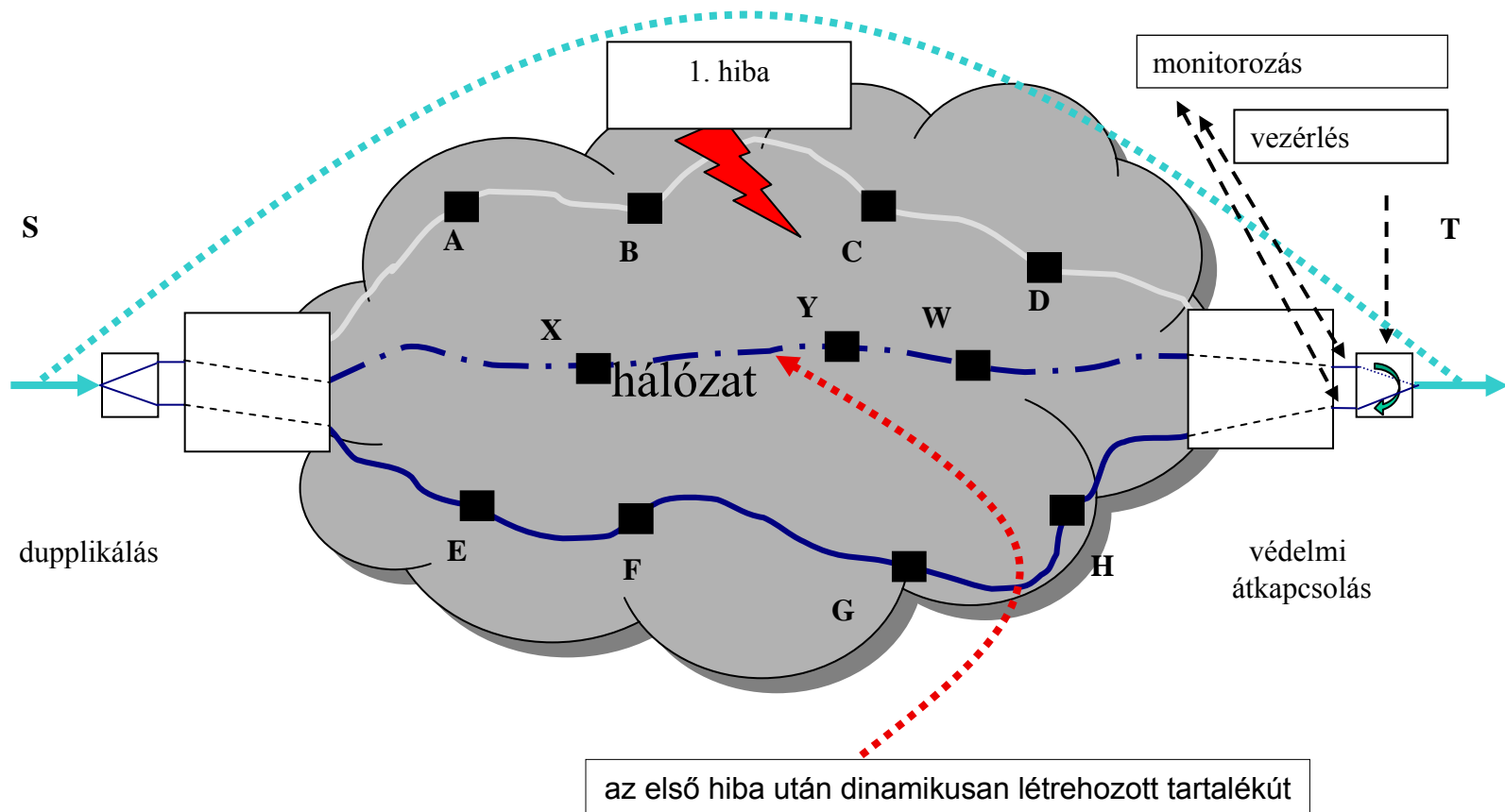
Alapsémák kiterjesztései

- 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

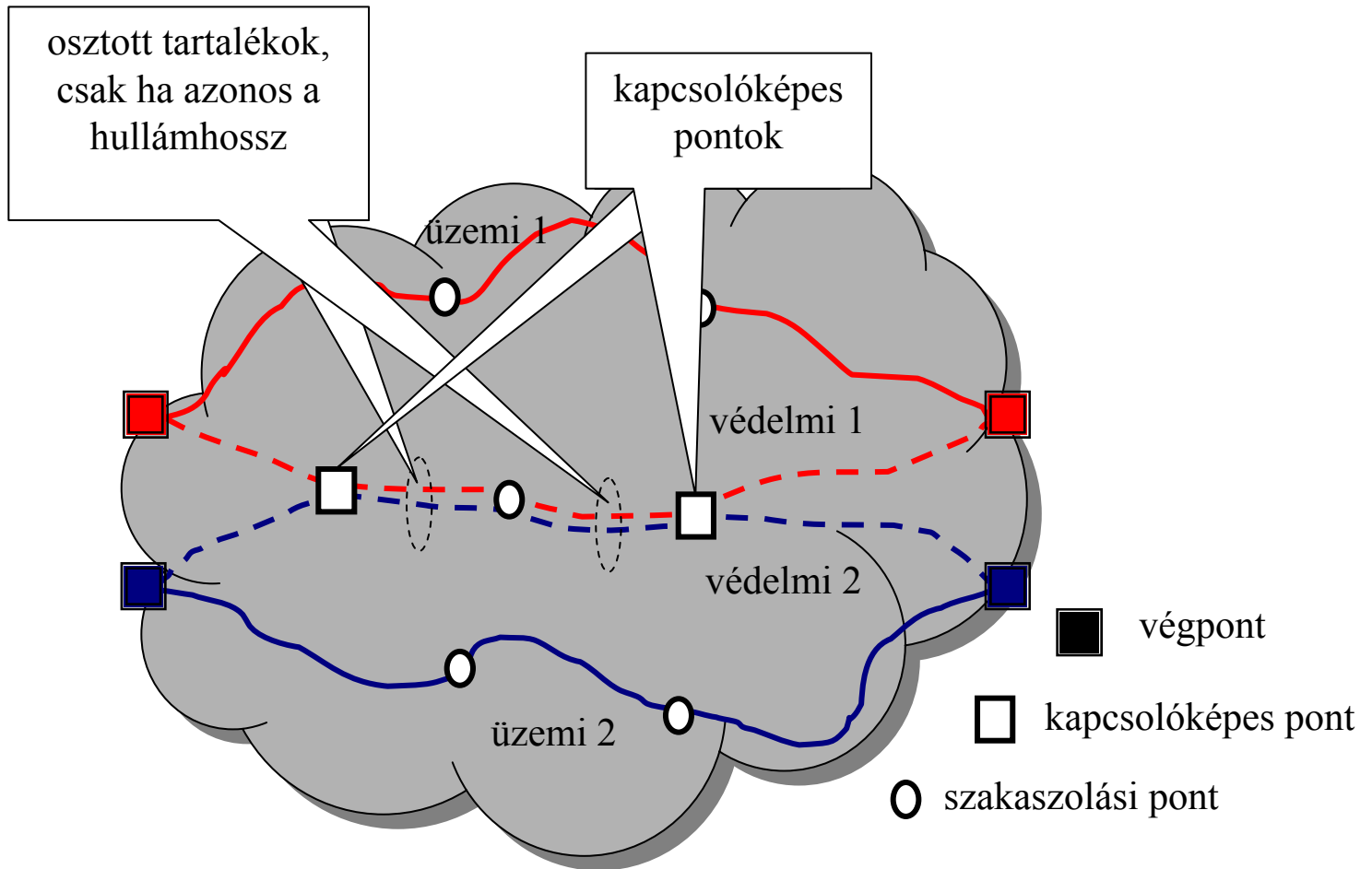
Kiterjesztett 1+n védelmi séma

n=2:

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

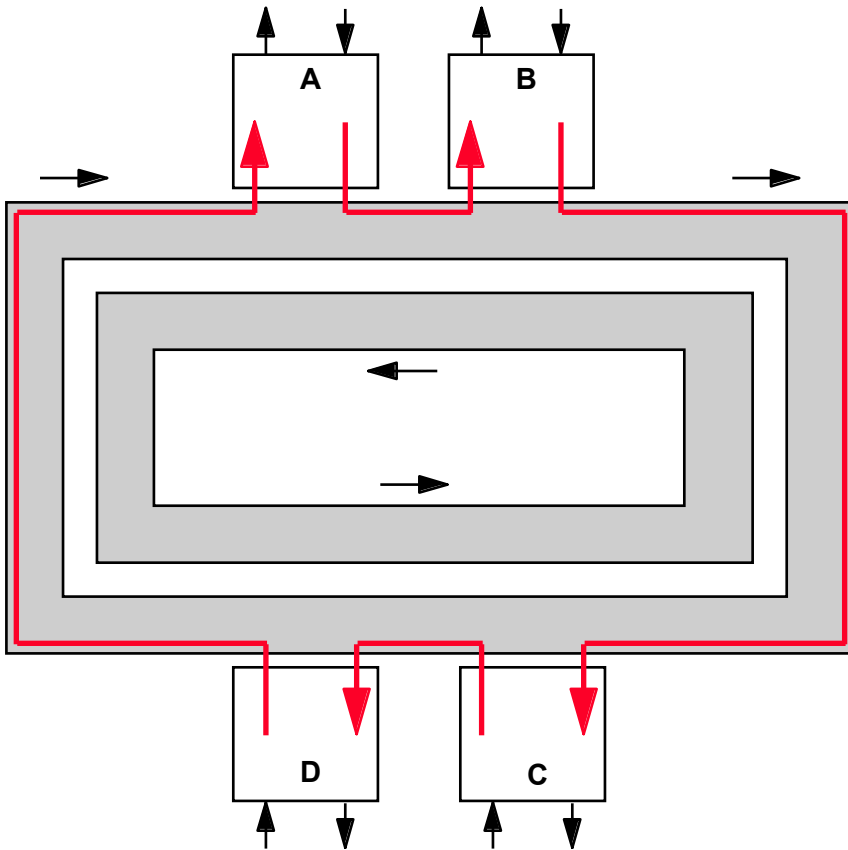


Osztott útvédelem

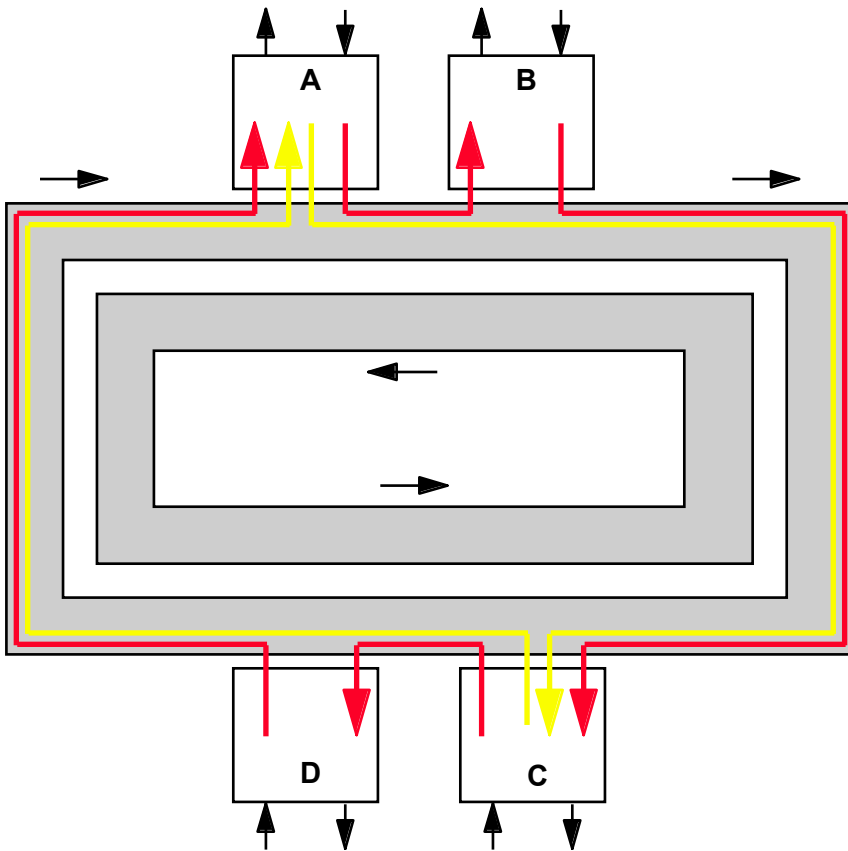


- Osztott multiplex szakasz védett optikai gyűrű (multiplex szakasz visszahurkolása hiba esetén) két optikai szálon
- Hullámhossz elkülönítési követelmény hibamentes és hibás állapotban is
- Full duplex, uplink, downlink irány lehet különböző hullámhosszon

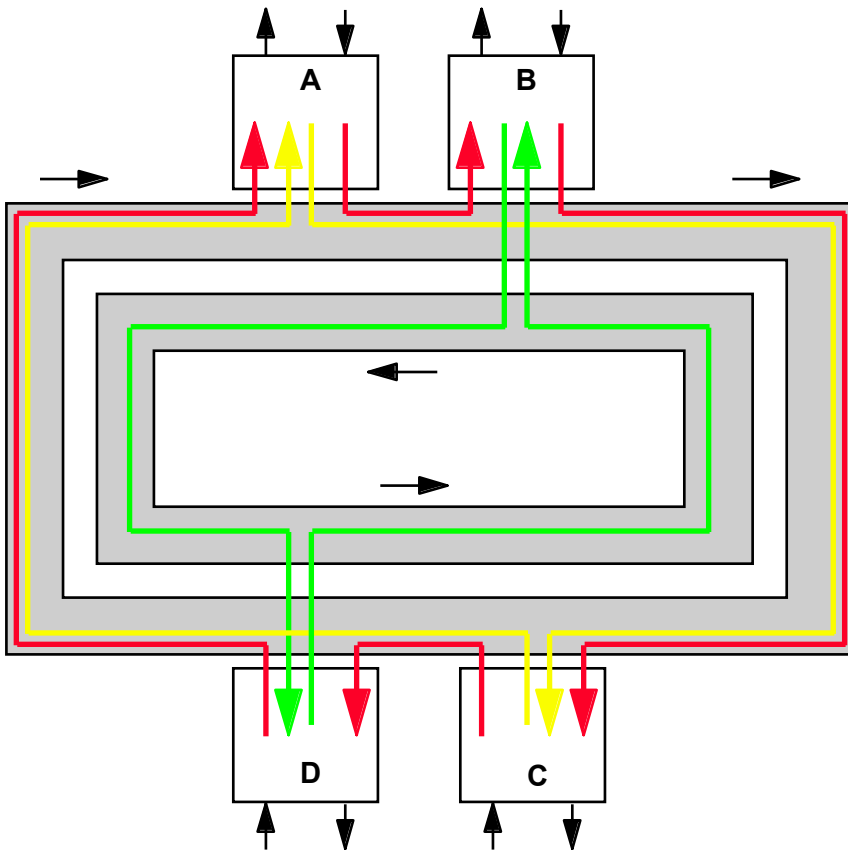
OMSSP útképzés és védelem



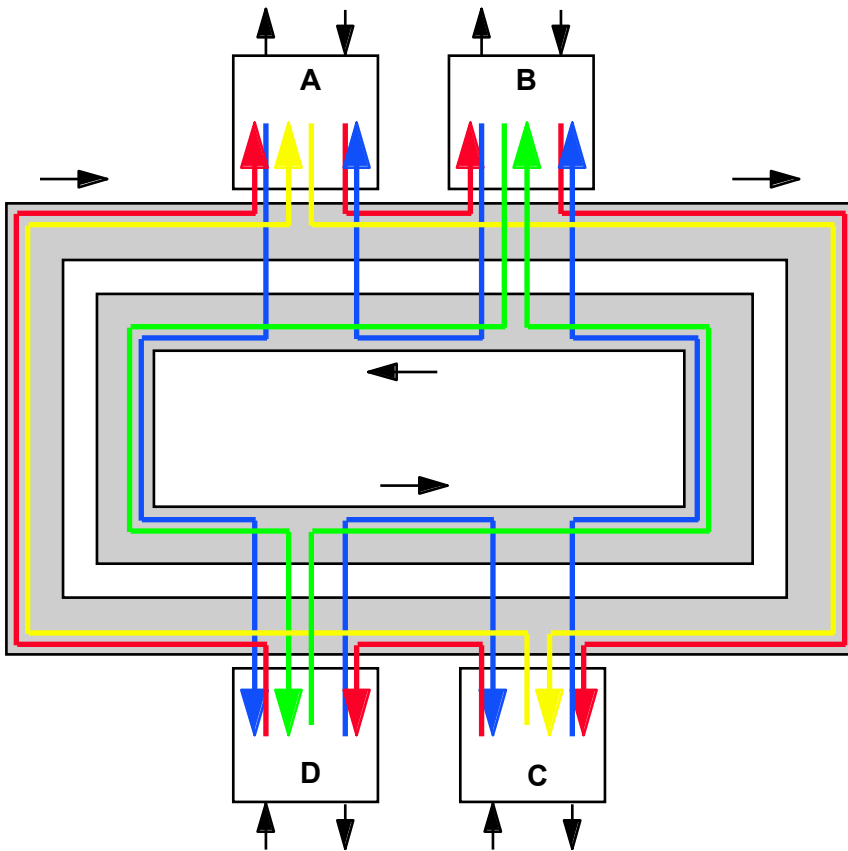
OMSSP útképzés és védelem



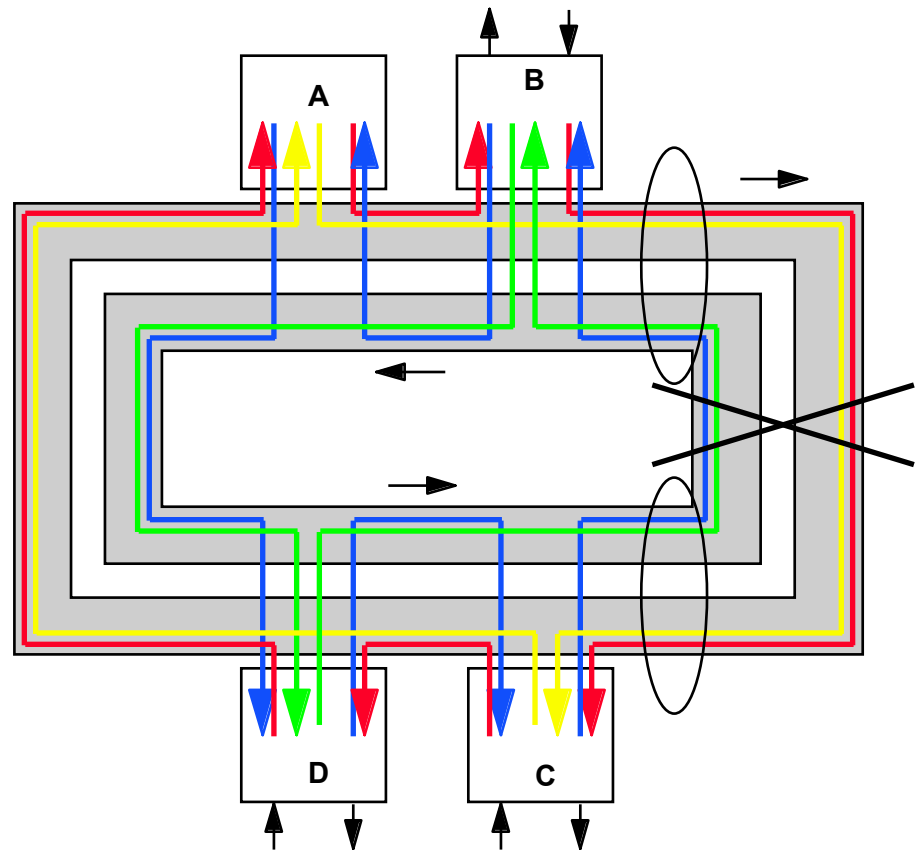
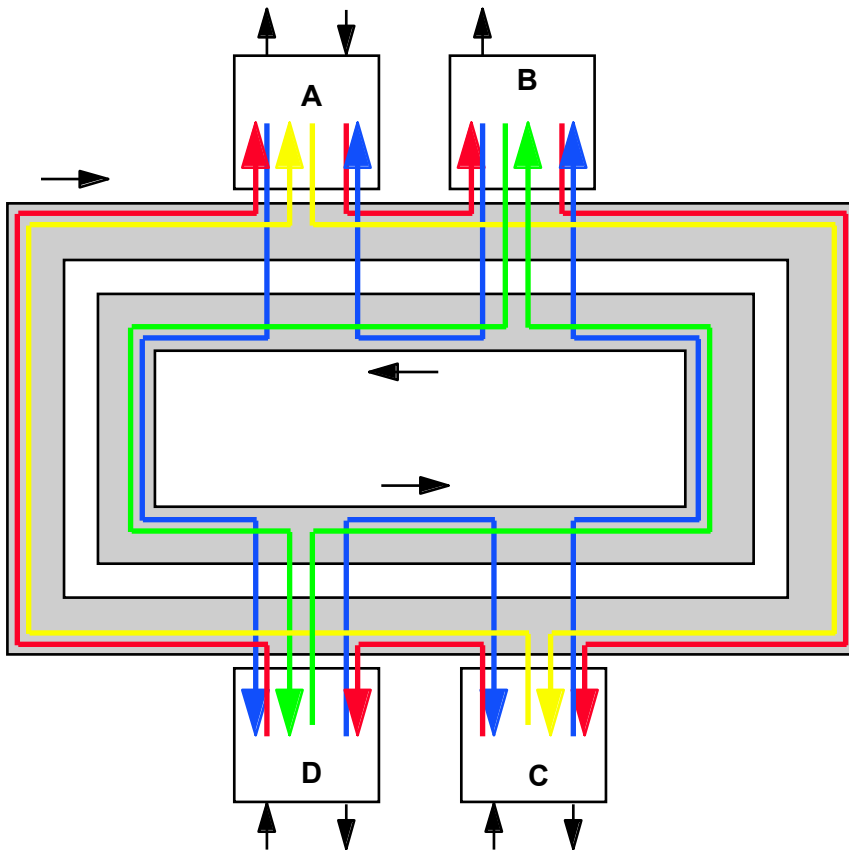
OMSSP útképzés és védelem



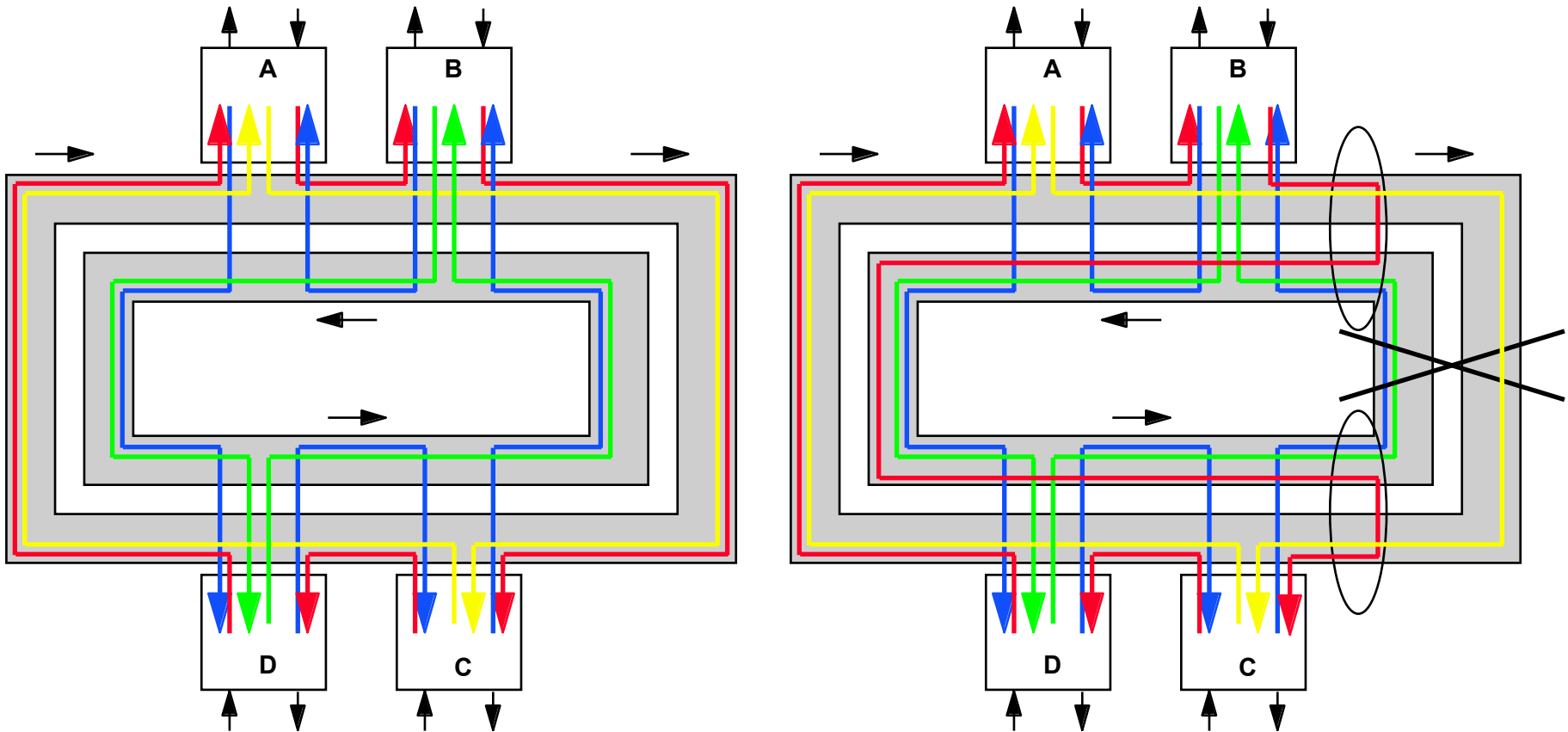
OMSSP útképzés és védelem



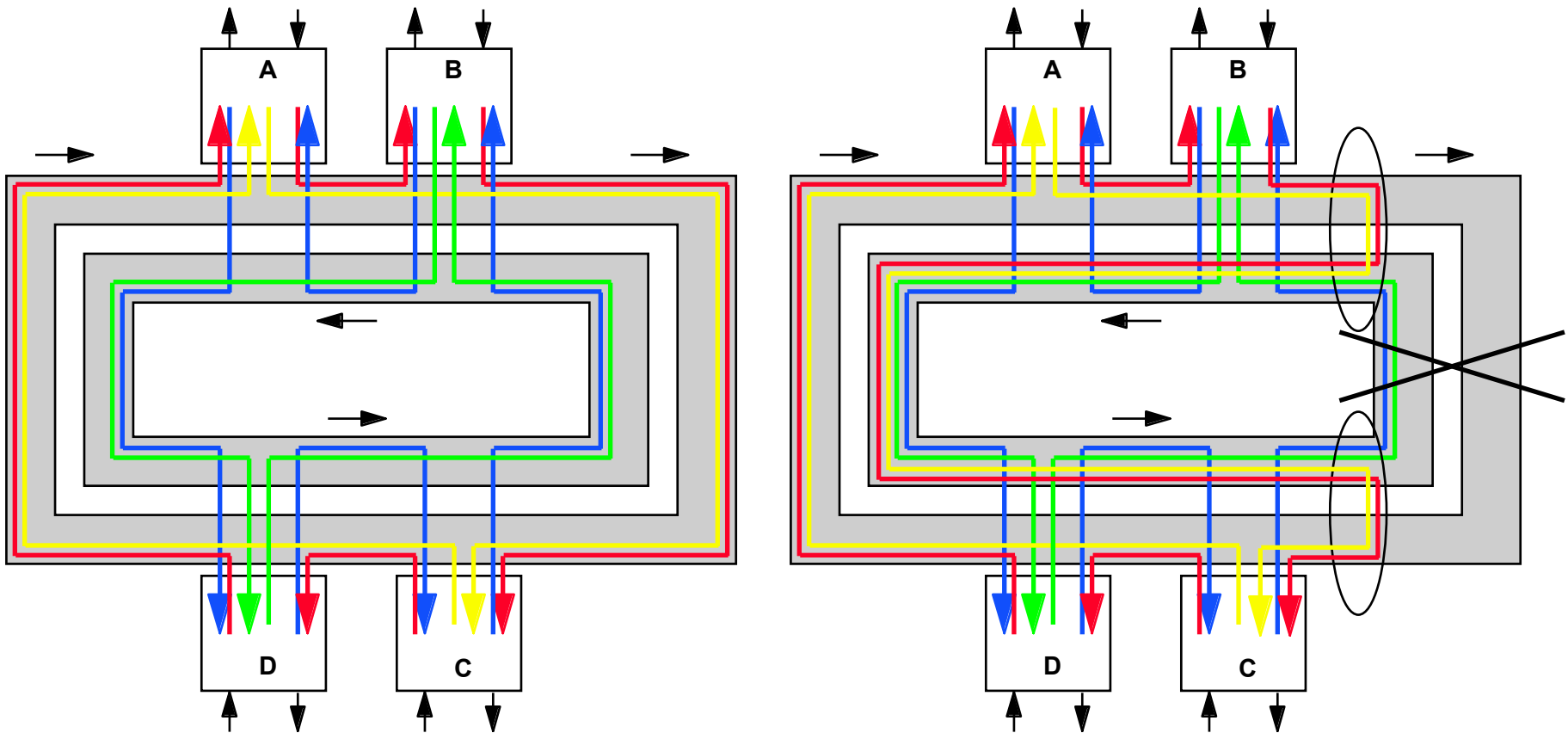
OMSSP útképzés és védelem



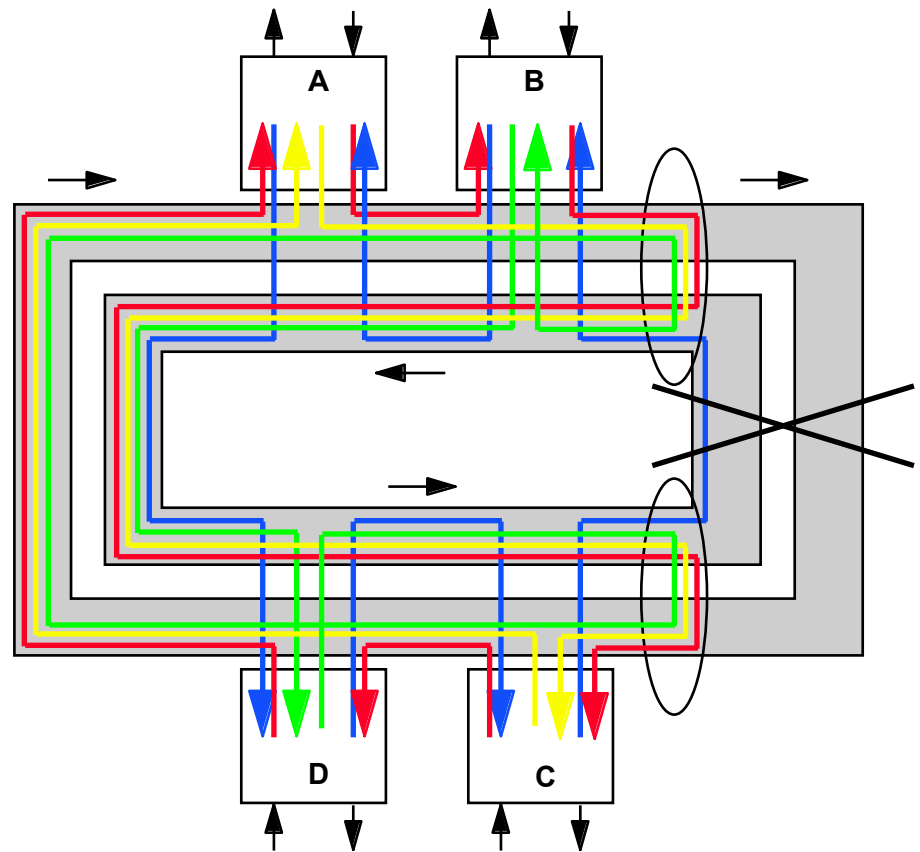
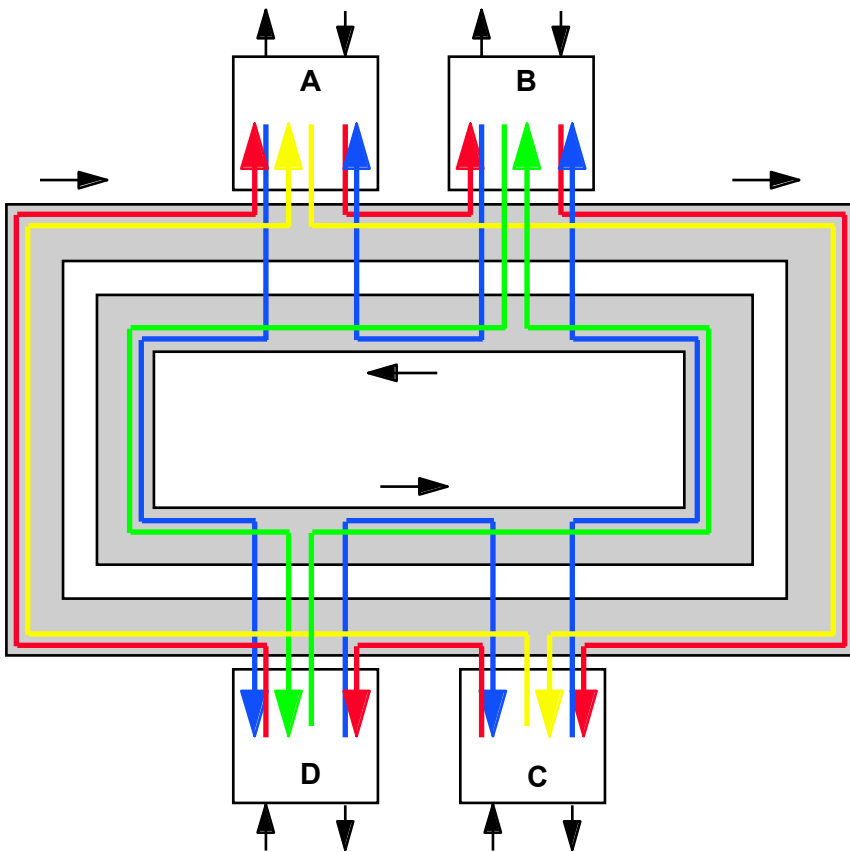
OMSSP útképzés és védelem



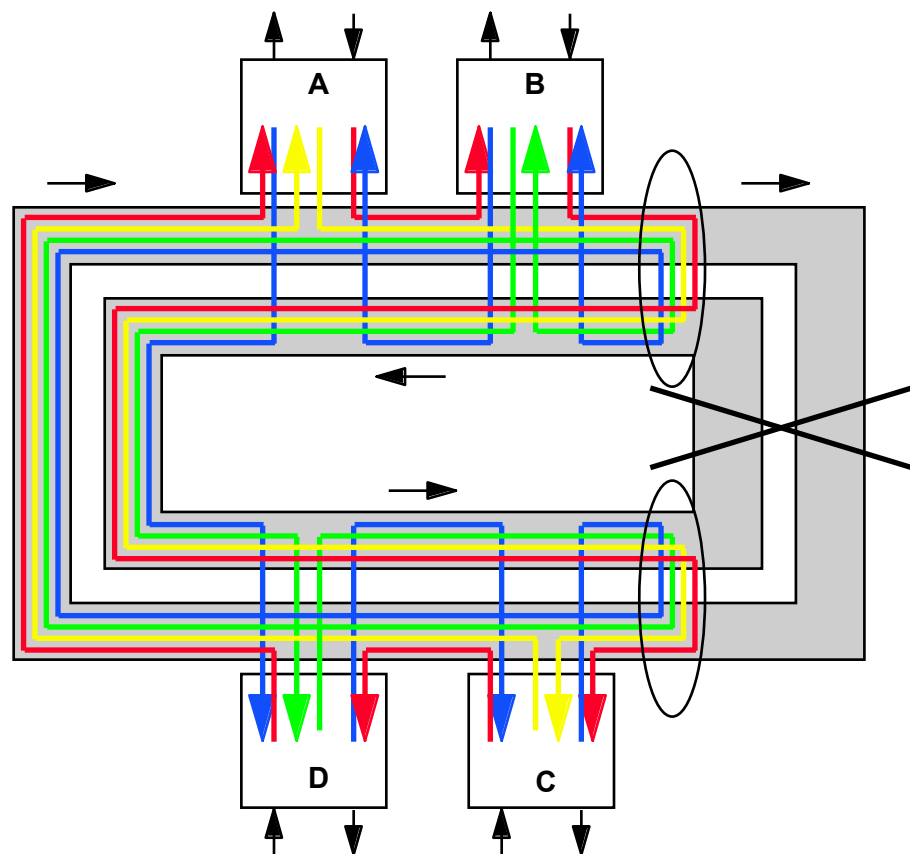
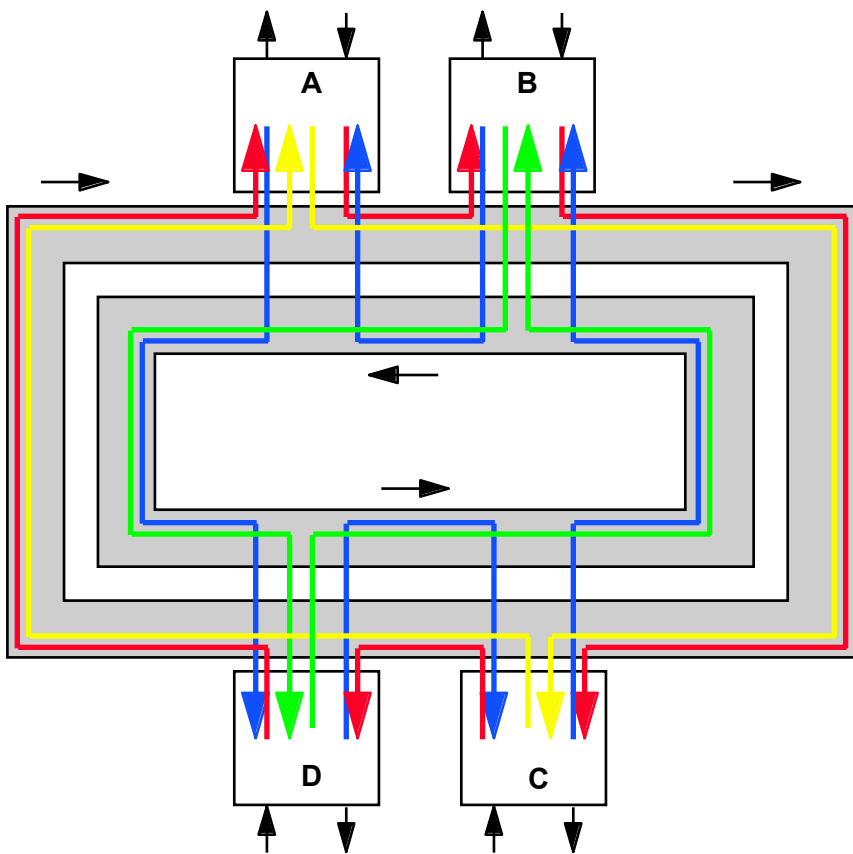
OMSSP útképzés és védelem



OMSSP útképzés és védelem



OMSSP útképzés és védelem

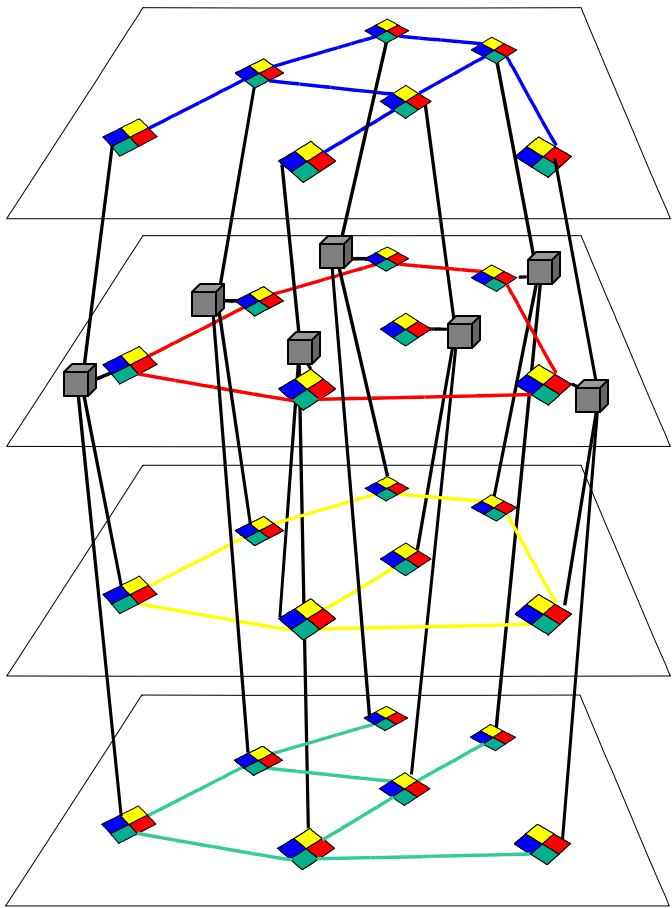
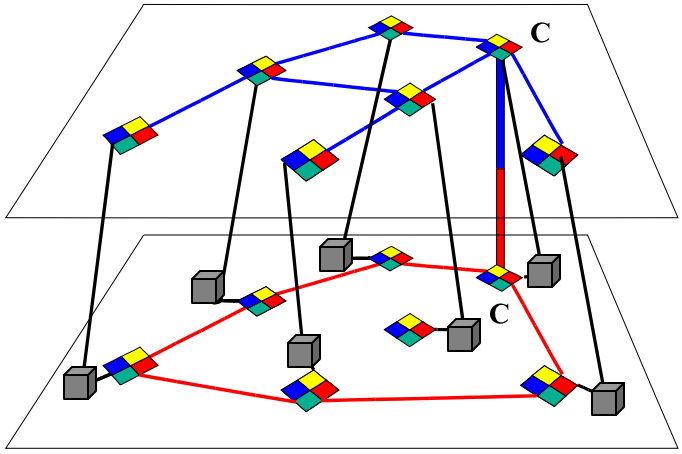
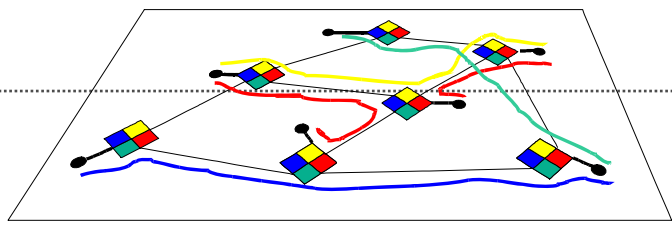


- Optikai szintű átrendezés
 - Üzemivel azonos hullámhosszú helyreállító utak
 - Flexibilis hullámhossz-választási (hozzárendelési) funkció a hálózat határán, (tipikusan adóoldali probléma, mert a vevők szélessávúak) eltérő üzemi-helyreállító hullámhossz
 - Hullámhossz-konverzió

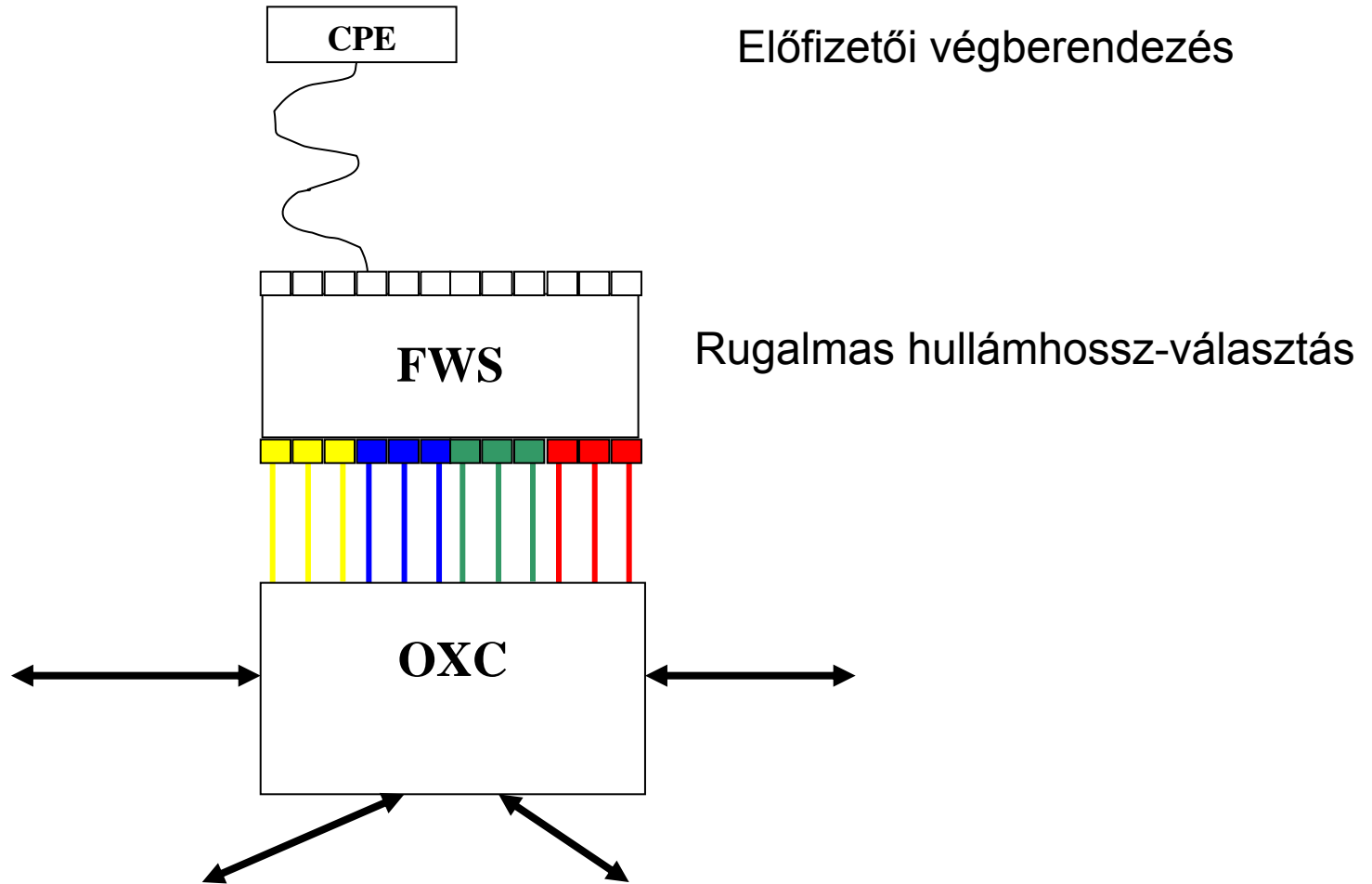
Optikai helyreállítás

- Optikai csatorna szintű helyreállítás
- Alapeset: az osztott védelmi tartalékok az üzemi utaknak megfelelő hullámhosszakon
- Hullámhossz-konverzió a csomópontokban: az azonos védelmi hullámhossz csak az első konverziós pontig követelmény
- Rugalmas hullámhossz-választás (edge): az osztott védelmi tartalék hullámhossza különbözhet
- Tartalékmegosztás hatékonysága

Optikai helyreállítás



Rugalmas hullámhossz-választás



Hullámhossz-konverzió

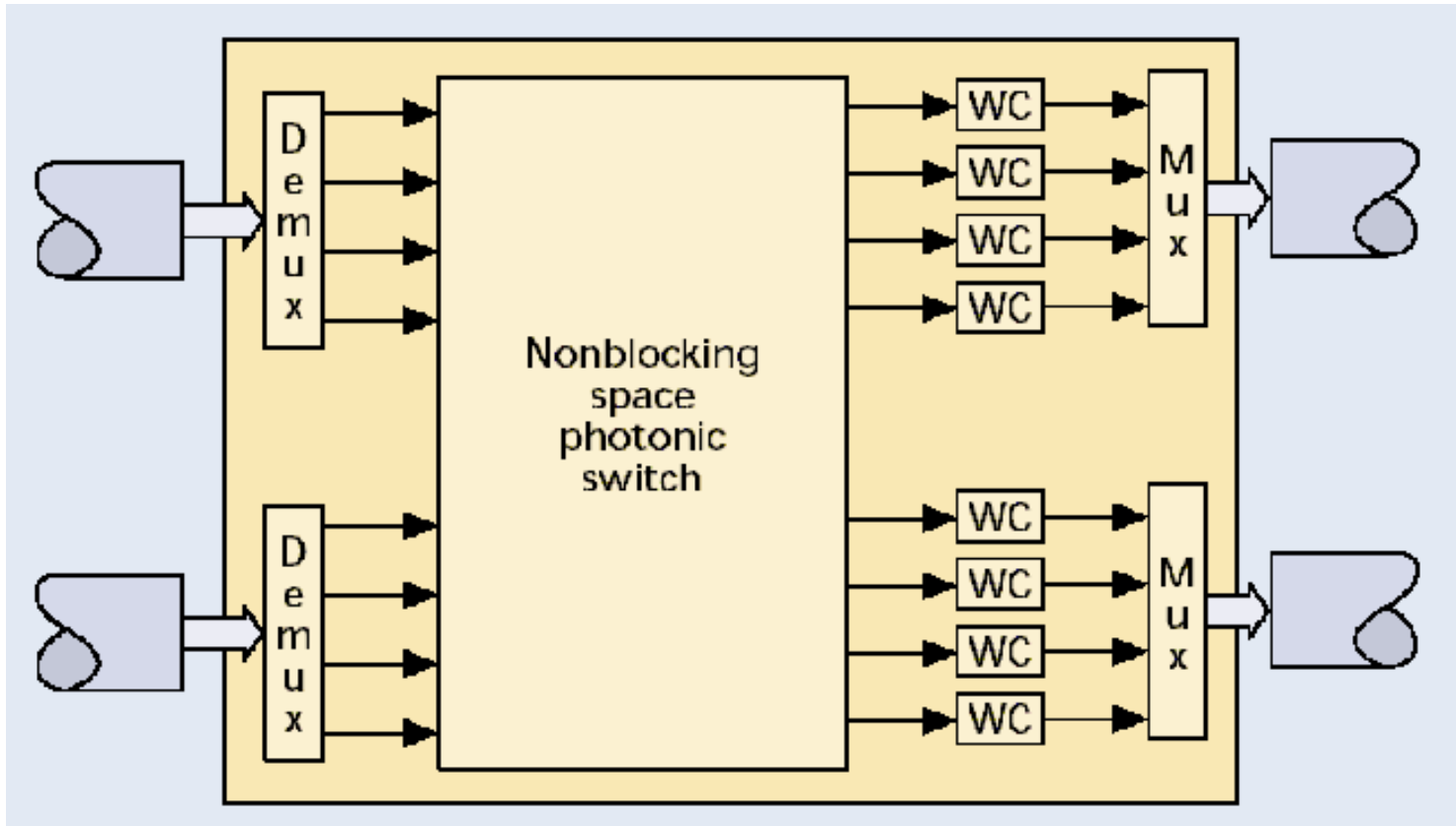
- A bejövő optikai csatorna hullámhosszát a továbbhaladás előtt megváltoztatjuk.
- Tfh. Két különböző irányból beérkező azonos hullámhosszú csatorna azonos irányban azonos optikai szálban akar továbbhaladni - egyikük hullámhosszát meg kell változtatni
- O/E/O – transzponder
- tisztán optikai – nemlinearitásokra alapozottan (csak laboratóriumi megvalósítások)

Hullámhossz-konverzió

- Csomópontok hullámhossz-konverziós képességei:
 - Teljes konverzió:
 - bármely bejövő hullámhosszt bármely kimenőre
 - Korlátozott konverzió:
 - egy bejövő hullámhosszt a kimenők egy részhalmazára .
 - Fix konverzió :
 - egy adott bejövő hullámhosszt egy adott kimenőre
 - Hálózati szinten vegyes megoldások is lehetnek
- OXC csomópontok hullámhossz-konverziós architektúrái:
 - Bemeneti, kimeneti
 - Dedikált, osztott
- Statikus (konfigurációs) probléma: erőforrás-szükséglet, konfigurációs flexibilitás

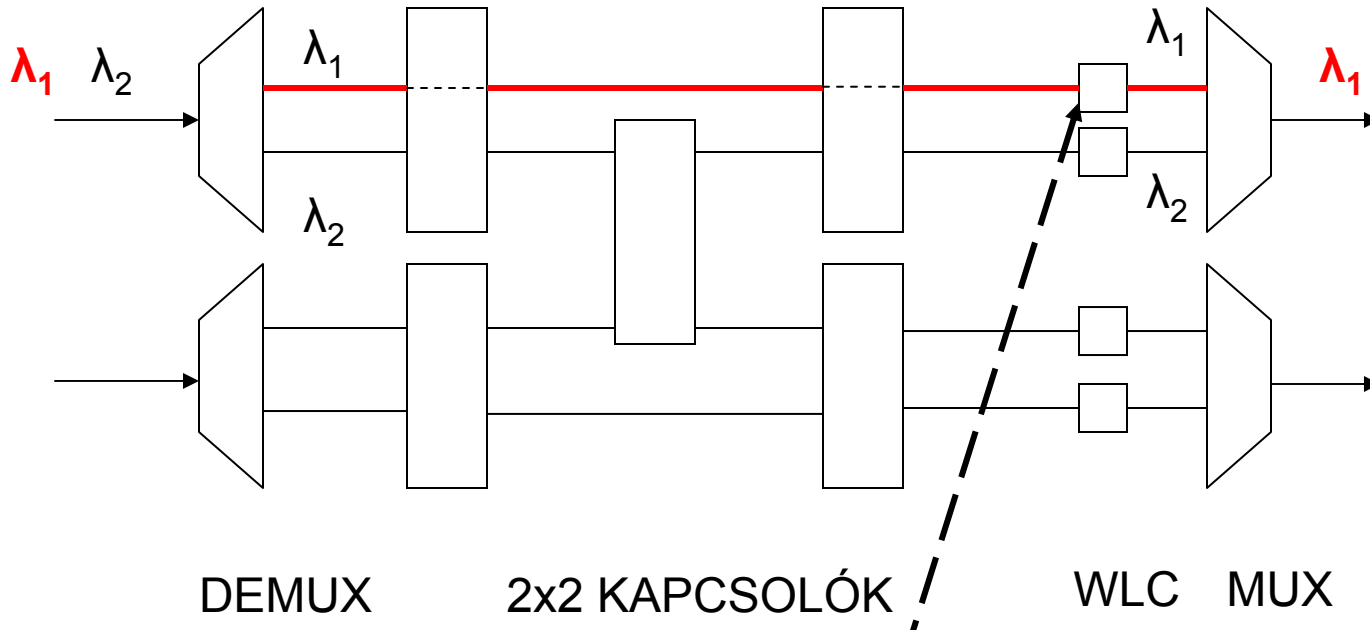
- dedikált konverziós funkció
- osztott konverziós funkció
 - egy-egy link szintjén
 - a csomópont szintjén

Dedikált WLC



2x2 irány, 4 hullámhossz = 8 WLC

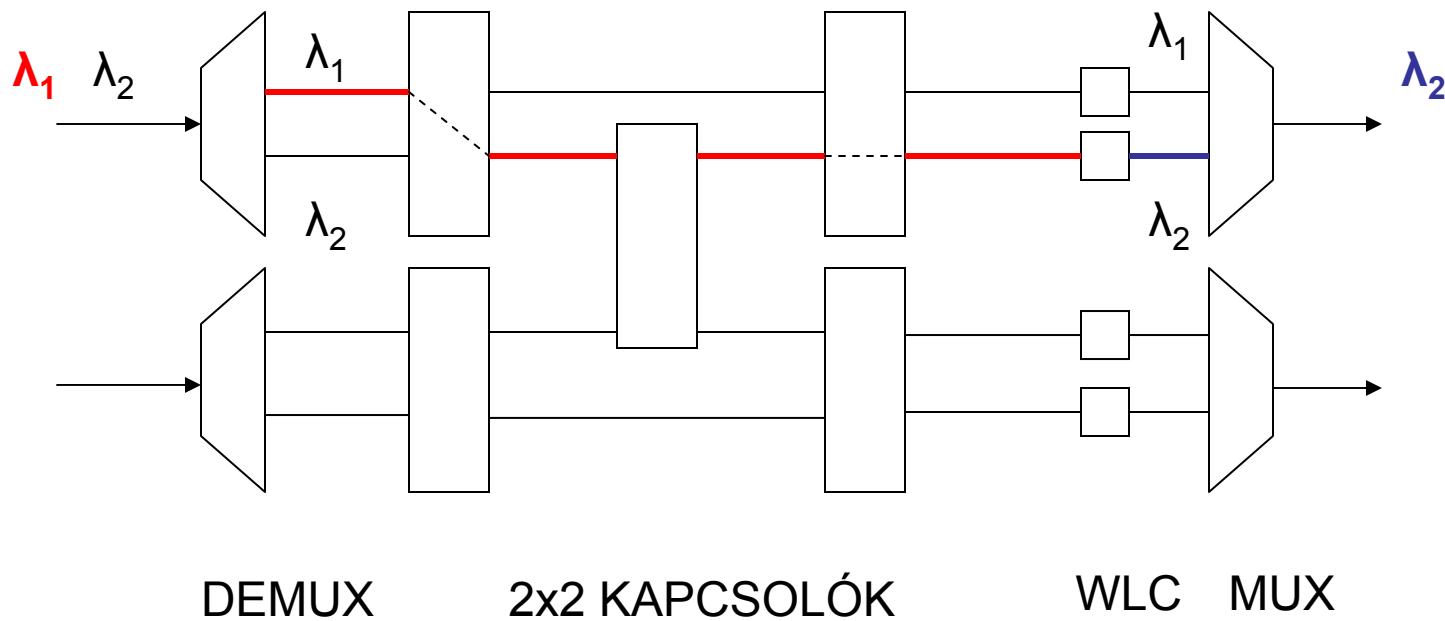
Dedikált WLC



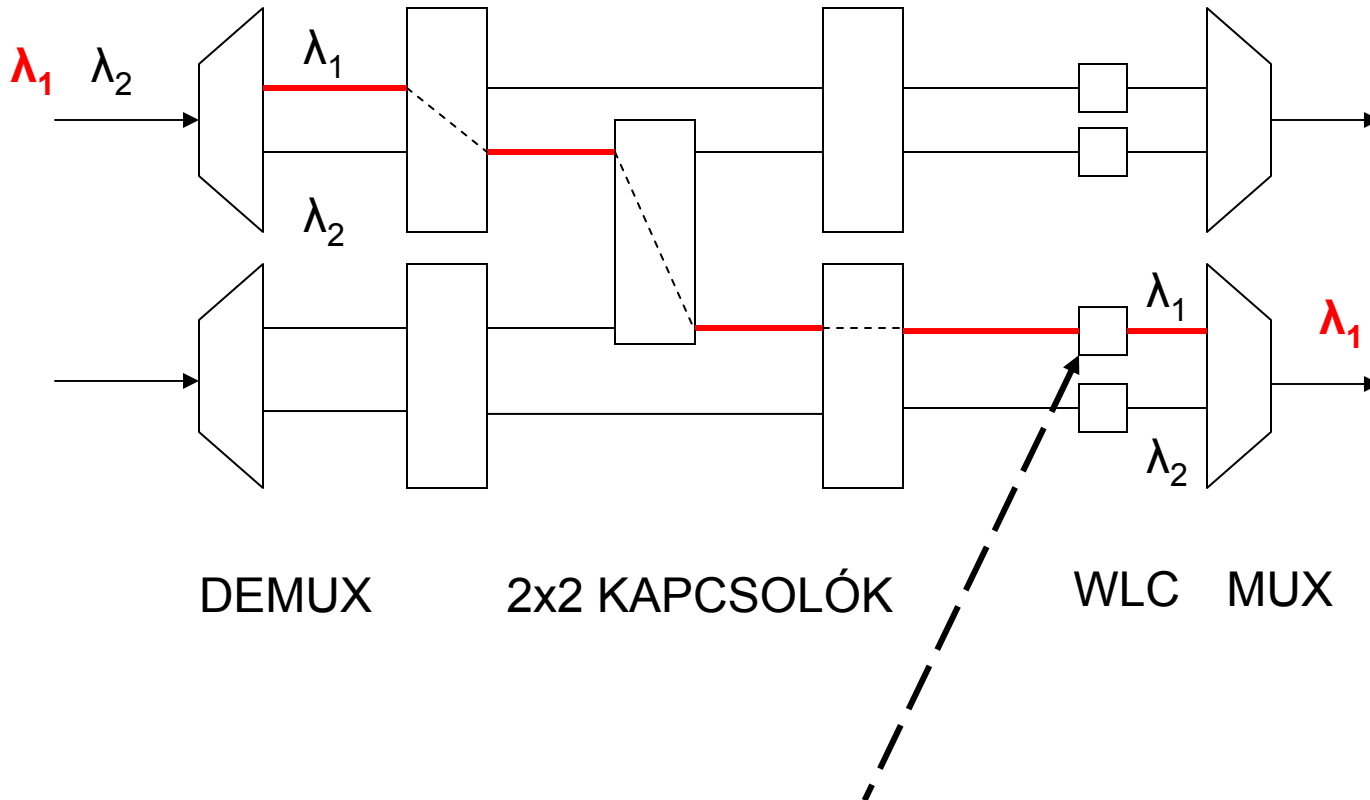
Belső blokkolástól mentes szerkezet.

Ez a konverter nem szükséges az adott konfigurációban, ha nem dedikált, hanem osztott WLC funkció volna, hatékonyabb lenne a megoldás

Dedikált WLC

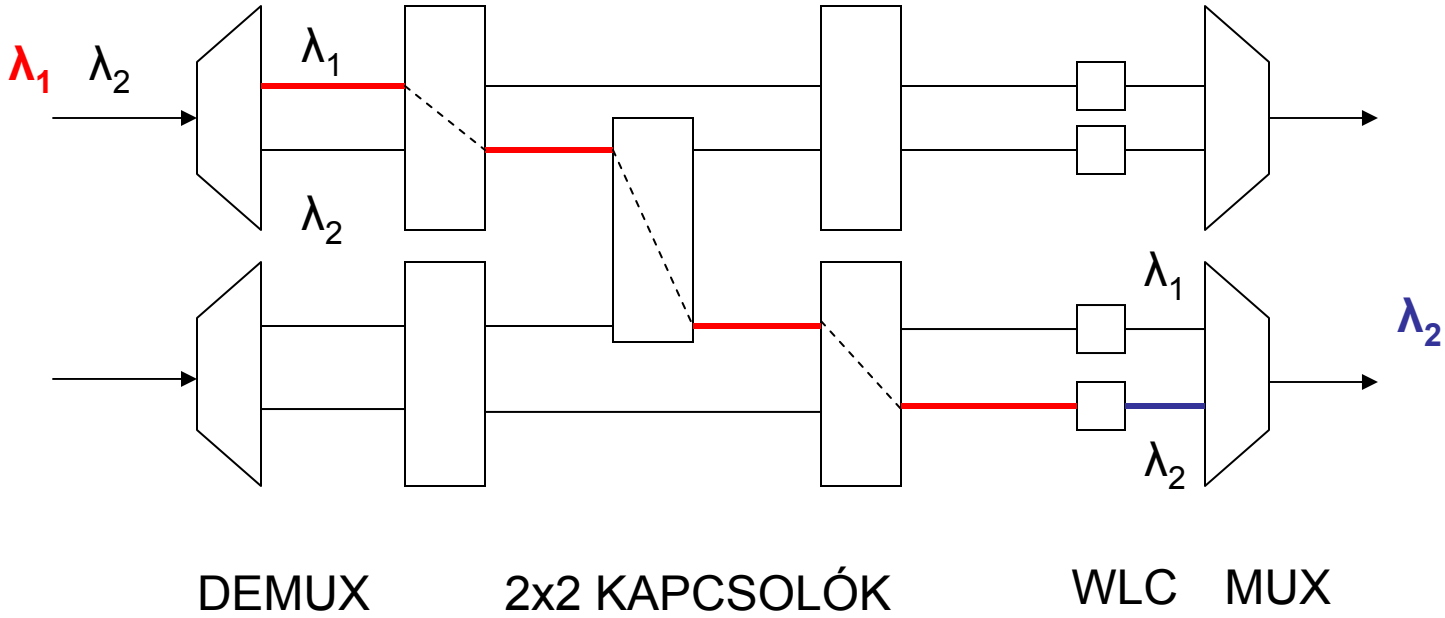


Dedikált WLC

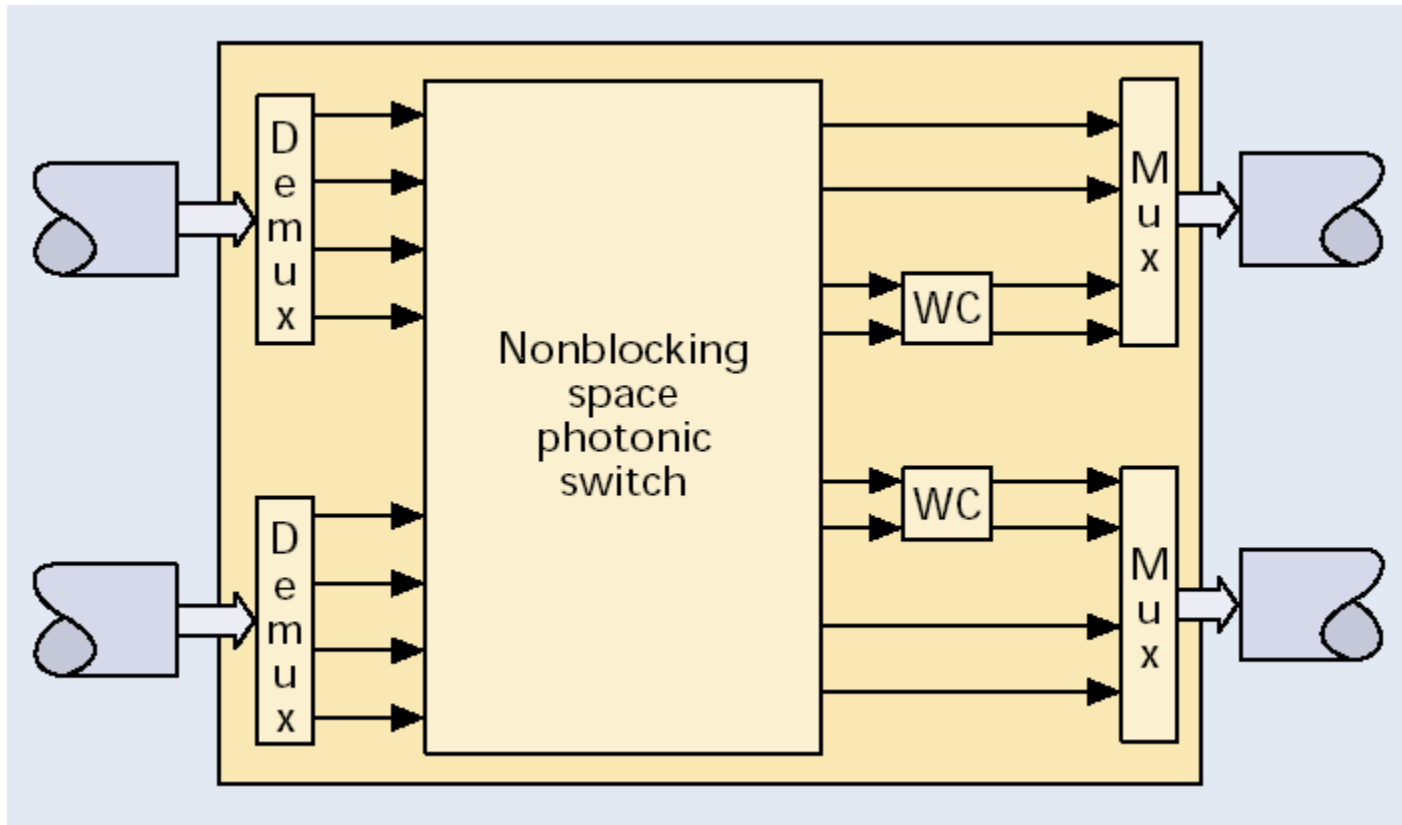


Nem szükséges az adott konfigurációban,
ha nem dedikált, hanem osztott WLC funkció volna, hatékonyabb lenne a megoldás

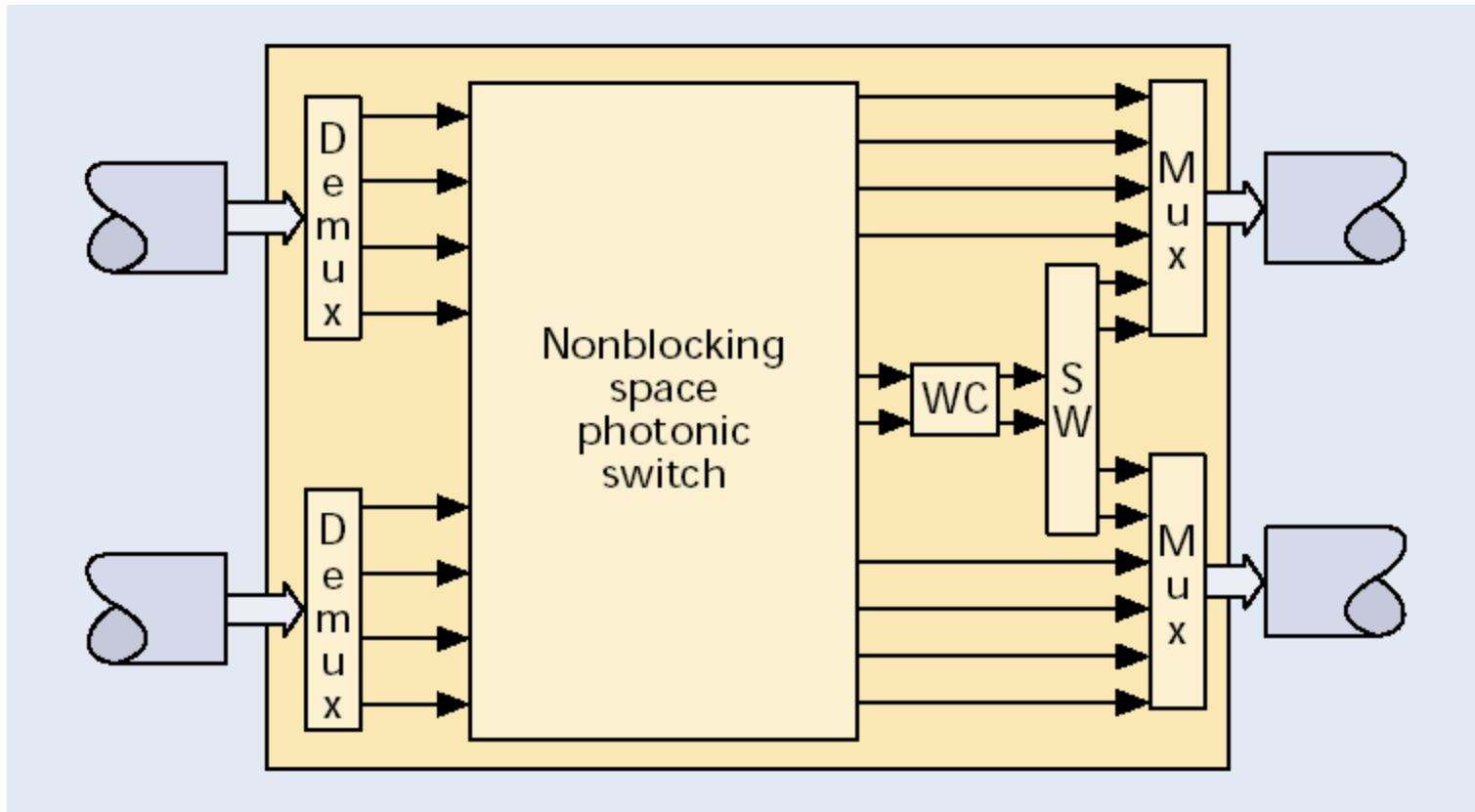
Dedikált WLC



Linkszinten osztott WLC

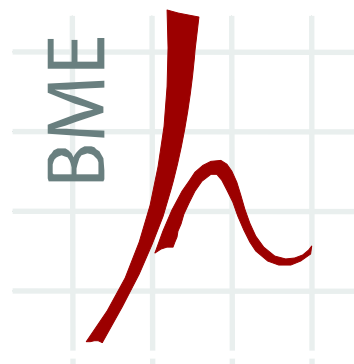


Csomópont szinten osztott WLC



Hullámhossz-konverziós OXC architektúrák

- osztott WLC funkció (bővíthető)
- automatikusan konfigurálható optikai hálózatok esetében az OXC architektúrák blokkolási jellemzői számottevően befolyásolhatják a hálózat teljesítőképességét

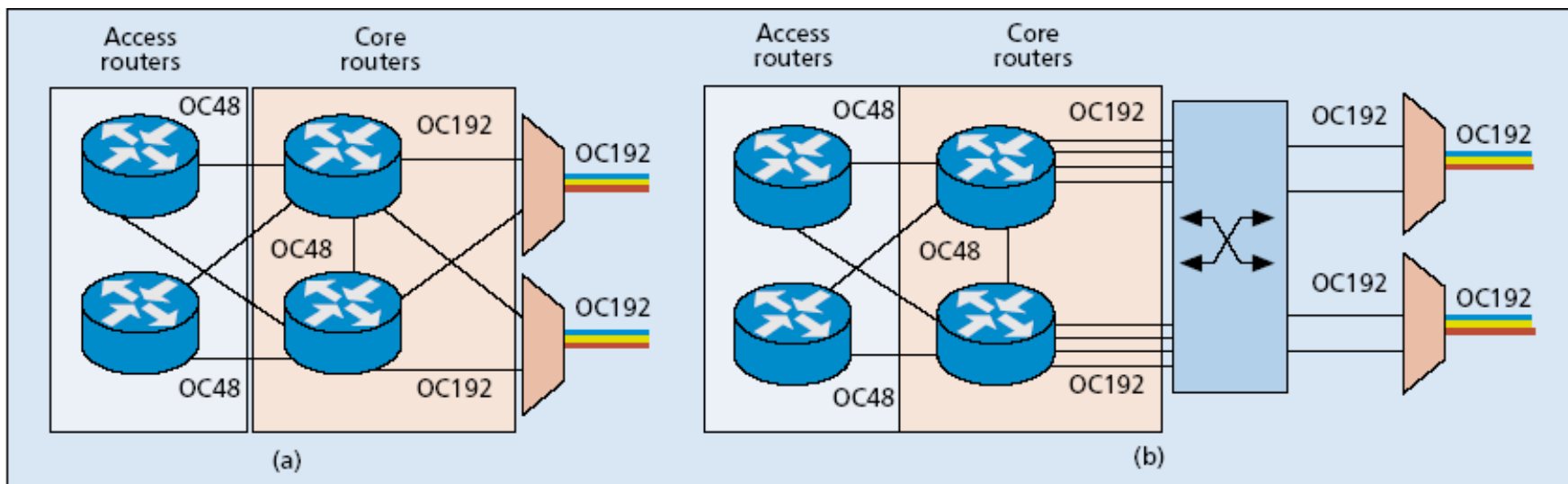


IP és WDM réteg együttes szempontjai

További szempontok: kitöltöttség, portok, hálózati funkciók

- Két technológiai rétegből felépülő hálózati szerkezetben a tranzitálás megoldása jelentősen befolyásolhatja a funkcionális és gazdaságossági jellemzőket
 - csatornakitöltöttség
 - szükséges portok száma (IP router port/OXC port = 3/1)
 - elérhető hálózati funkciók
 - rendelkezésreállítás (OXC DTR/IP router DTR= 1/200)
 - skálázhatóság, védelem, konfigurálhatóság, összefüggőség

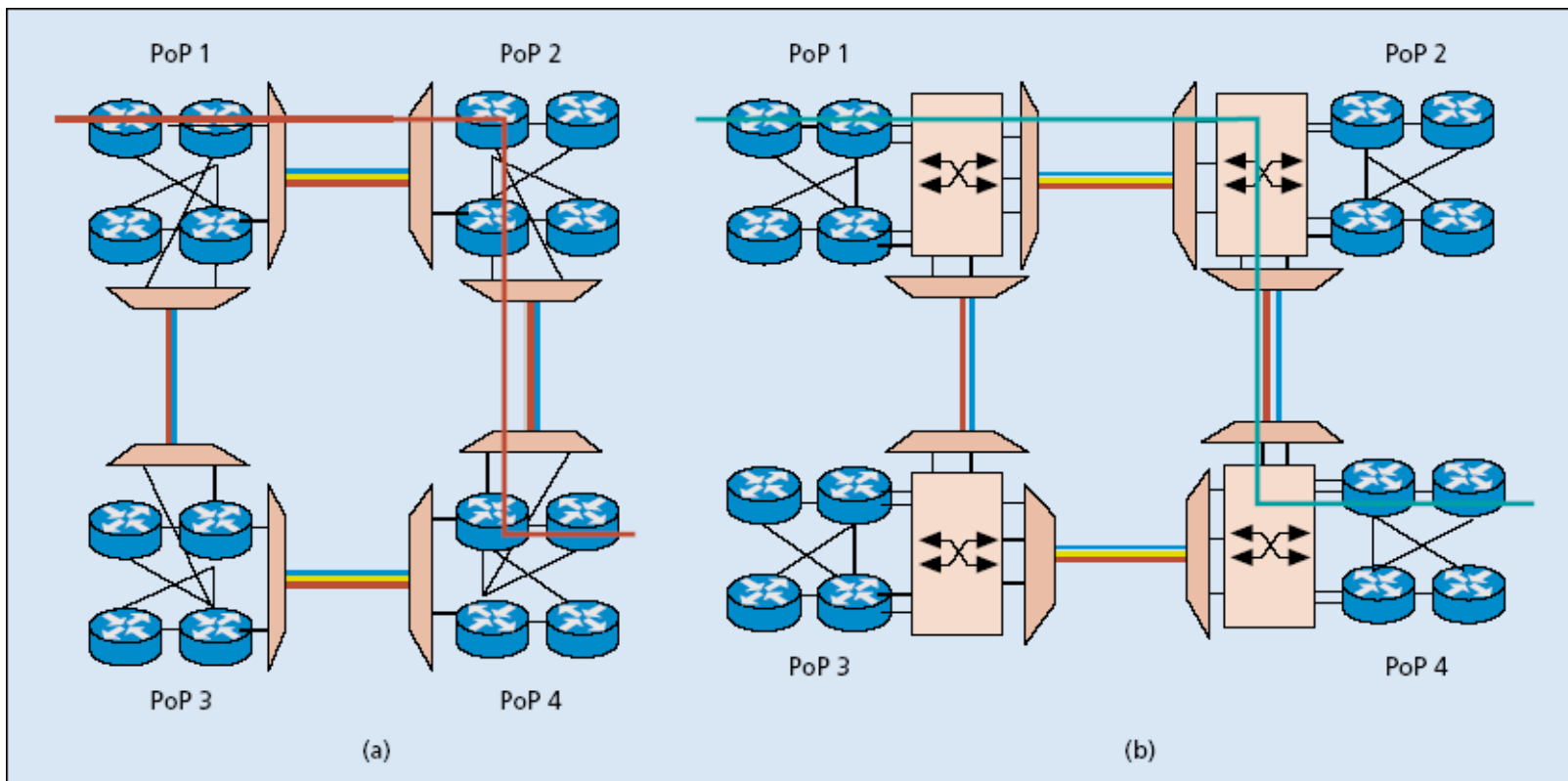
Csomóponti szerkezetek - végződés



Végmultiplexer alapú

OXC alapú

Csomóponti szerkezetek - tranzitálás



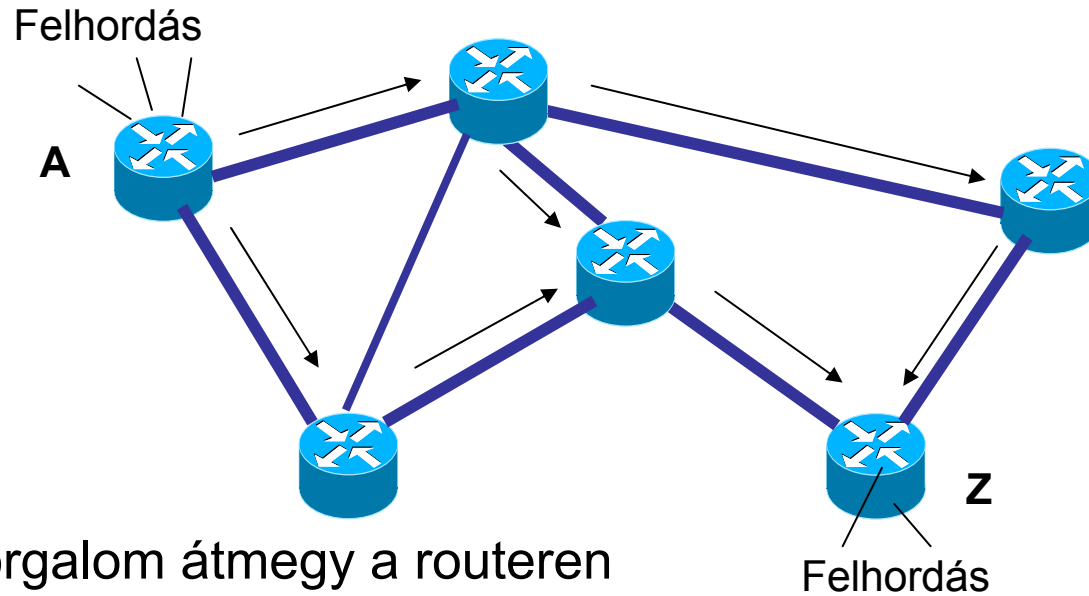
Pont-pont alapú,
Kliens szintű tranzitálás

OXC alapú
Optikai szintű tranzitálás

(A konfigurációs flexibilitás követelmény)

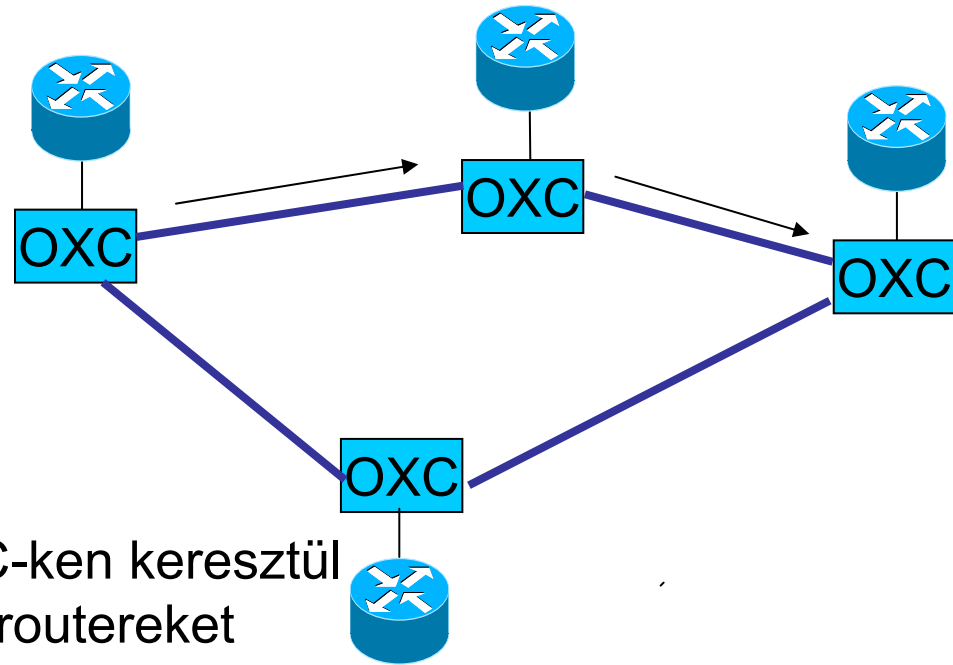
Miért fontos az optikai réteg konfigurálhatósága az IP számára?

1. architektúra: Big Fat routerek és összeköttetések



- Minden tranzitforgalom átmegy a routeren
- Pont-pont optika a transzportra
- Minden hálózati transzport-hálózati funkció az IP rétegben
- A hálózat 'egyszerű'
- De.....
 - a több szakasz nagyobb csomagkésleltetést jelent
 - Nagyteljesítményű routerek kellene a végződő és átmenő forgalom továbbításához

2. architektúra: Kisebb routerek és flexibilis OXC hálózat

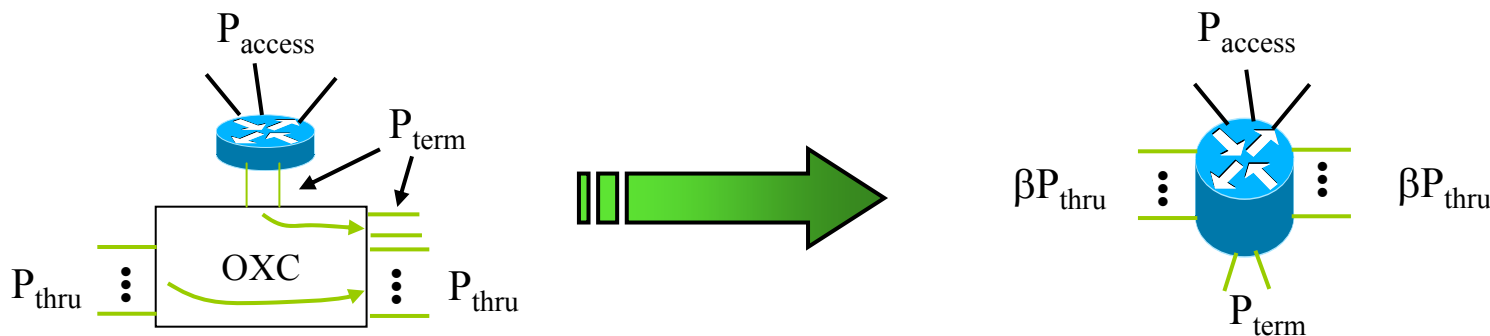


- Routerek összekapcsolása az OXC-ken keresztül
 - Csak a végződő forgalom terheli a routereket
 - Az átmenő forgalom tranzitálása optikai szinten
 - Védelmi funkciók implementálhatók az optikai rétegben (gyorsabb, olcsóbb)
 - Az optikai hálózat más klienseket is kiszolgálhat
- De: több hálózatelem, bonyolultabb hálózat (->menedzsment)

Teljesítmény/költség összehasonlítás: Pont-pont és flexibilis optikai hálózat

- **Teljesítmény-vonatkozások**
 - IP csomagkésleltetés-szakaszszám
 - helyreállítás
 - traffic engineering – a hálózati erőforrások hatékony felhasználása
 - különböző szolgáltatások együttes támogatása
- **Költség-vonatkozások**
 - Hálózatelemek száma (berendezés- és működési költség)
 - A különböző (IP és OXC) portok száma és költsége
 - Optikai szálak költsége, a szálak és a hullámhosszak kihasználtsága

Költséganalízis: A két architektúra összehasonlítása



Összesített portköltség
 $2(\alpha+1)P_{\text{term}}C_{\text{OXC}} + P_{\text{term}}C_{\text{R}}$

Összesített portköltség
 $(1+2\beta\alpha)P_{\text{term}}C_{\text{R}}$

A router alapú megoldás olcsóbb, ha
 $CR = C_{\text{R}}/C_{\text{OXC}} < (\alpha+1)/\beta\alpha$

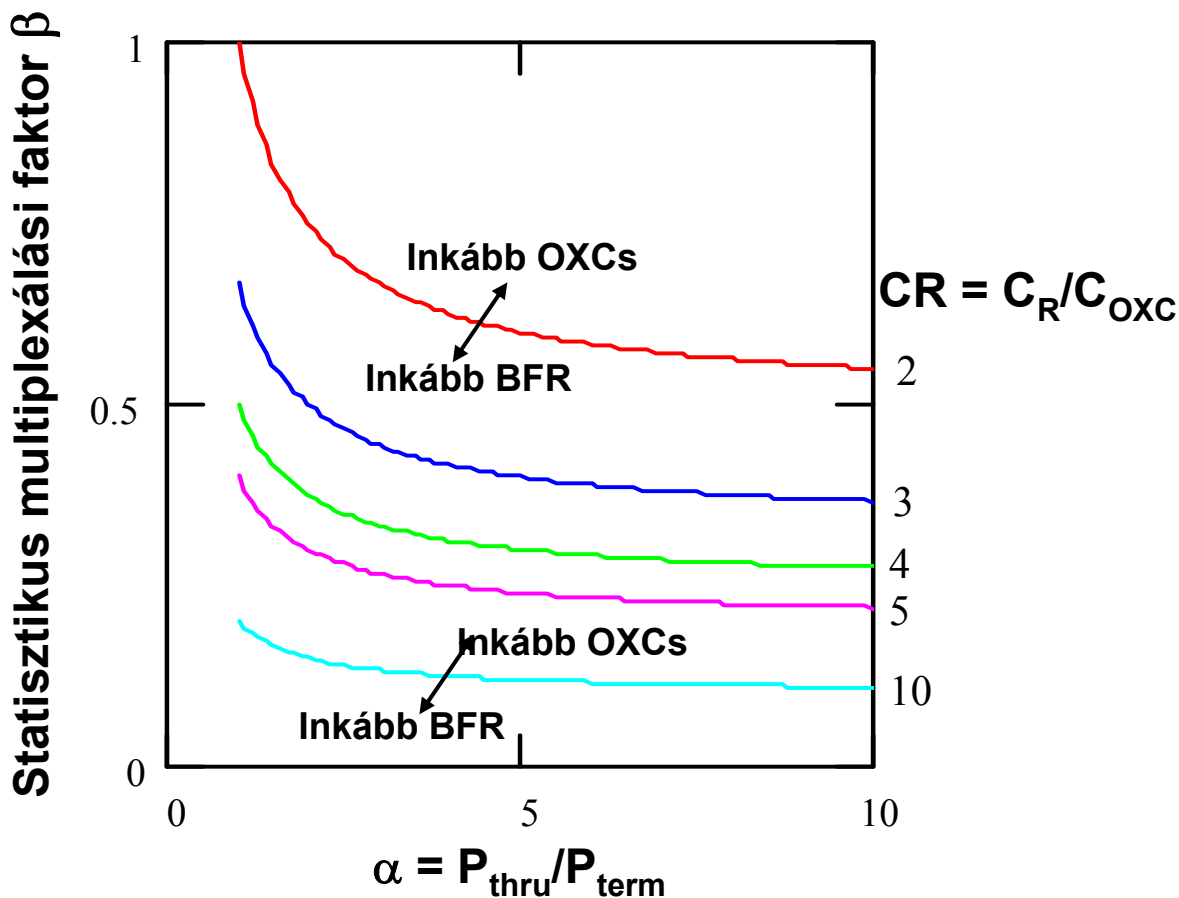
C_{R} = router port költség hullámhosszanként

C_{OXC} = OXC port költség hullámhosszanként λ

β = statisztikus multiplexálási faktor

$\alpha = P_{\text{thru}}/P_{\text{term}}$

Eredmény:



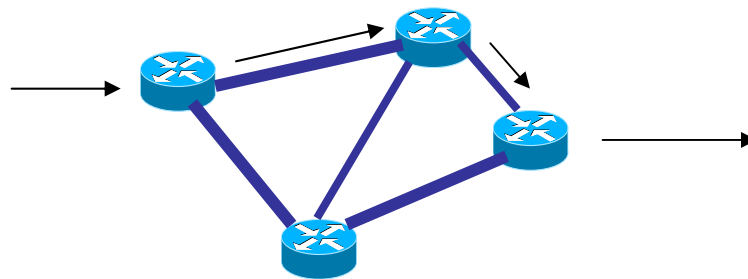
BFR = Big Fat Router
OXC=Optical Cross Connect

IP / WDM forgalomvezérlés

- **Forgalomvezérlési célkitűzések**
- **A hálózati erőforrások kihasználtságának optimalizálása:**
 - csökkenteni a torlódást & javítani a *throughputot*
 - hatékonyabb költségfelhasználást elérni
 - Hálózati hatékonyság a terhelések kiegyenlítésével
 - Hálózati szintű áttekintést igényel
- **Az IP réteg TE mechanizmusai**
 - MPLS Explicit Routing
- **A WDM réteg TE mechanizmusai**
 - WDM optikai utak átkonfigurálása
 - az IP logikai topológia módosítása

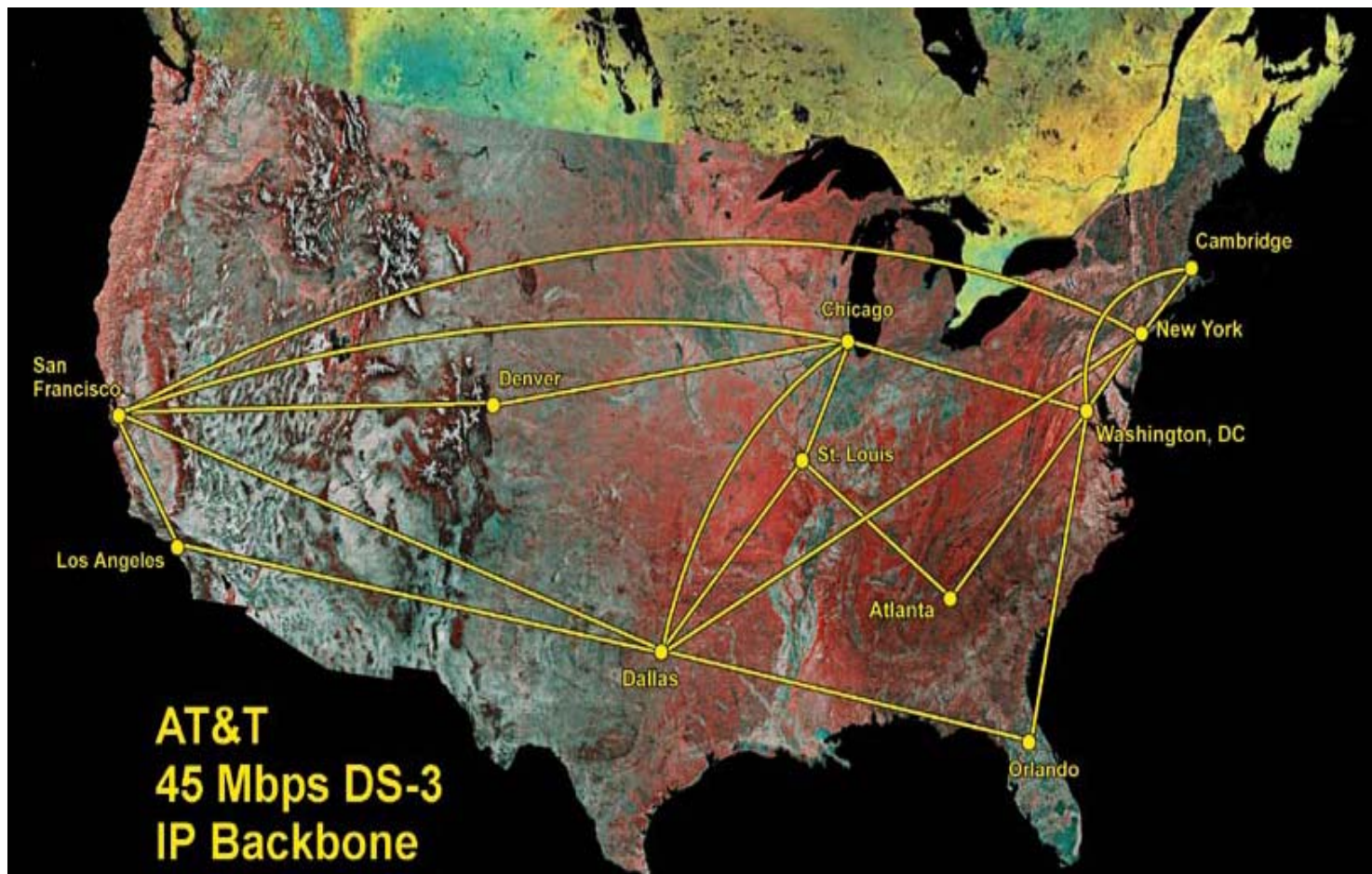
IP-rétegbeli továbbítás

- A hagyományos IP routing során minden router önálló, szakaszalapú döntést hoz a továbbításról
- Az IP-MPLS hálózatban a csomagok FEC-be rendezése egyszer, a hálózatba belépéskor történik, a csomaggal együtt továbbított címke meghatározza a hálózaton áthaladás útvonalát
- Az MPLS biztosítja az utak explicit kontrollját
 - Egyszerű továbbítás
 - Az explicit routing egyszerű támogatása
- Az MPLS megfelelő protokollokat és jelzéseket alkalmaz az utak létrehozására



DE: az IP-rétegbeli továbbítást meghatározza az optikai réteghálózat szerkezete

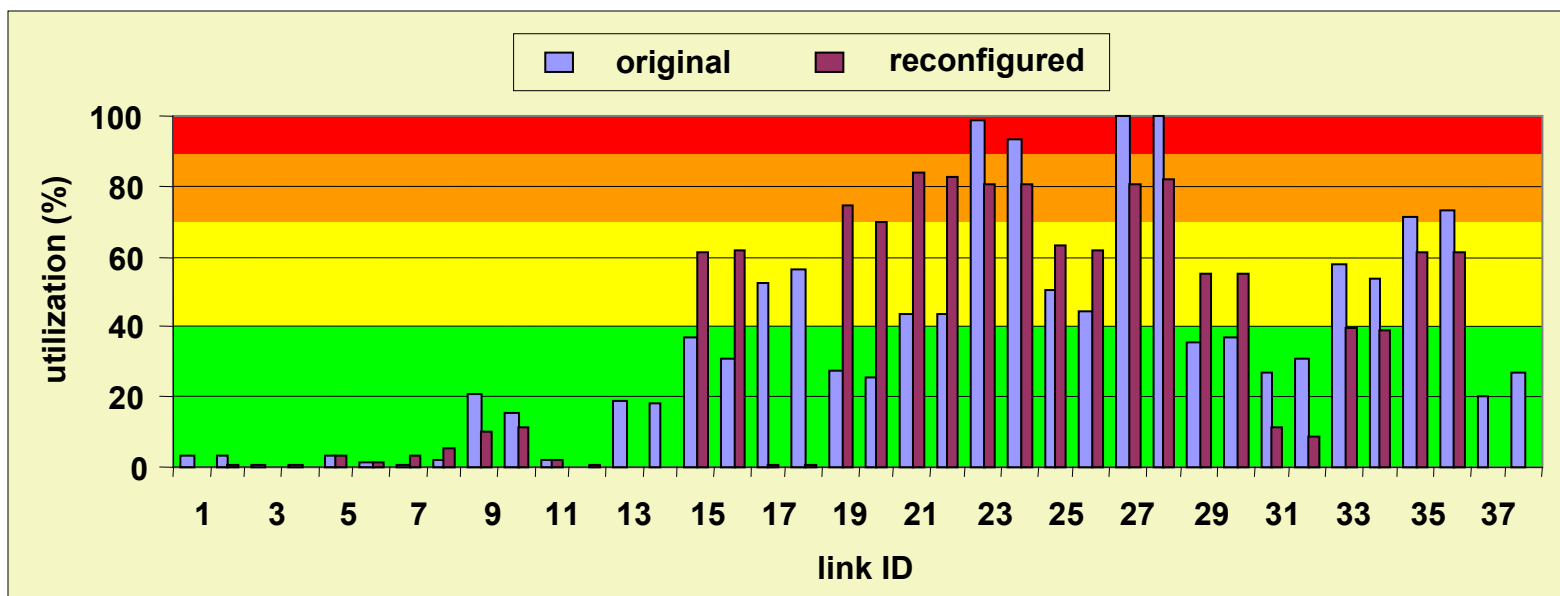
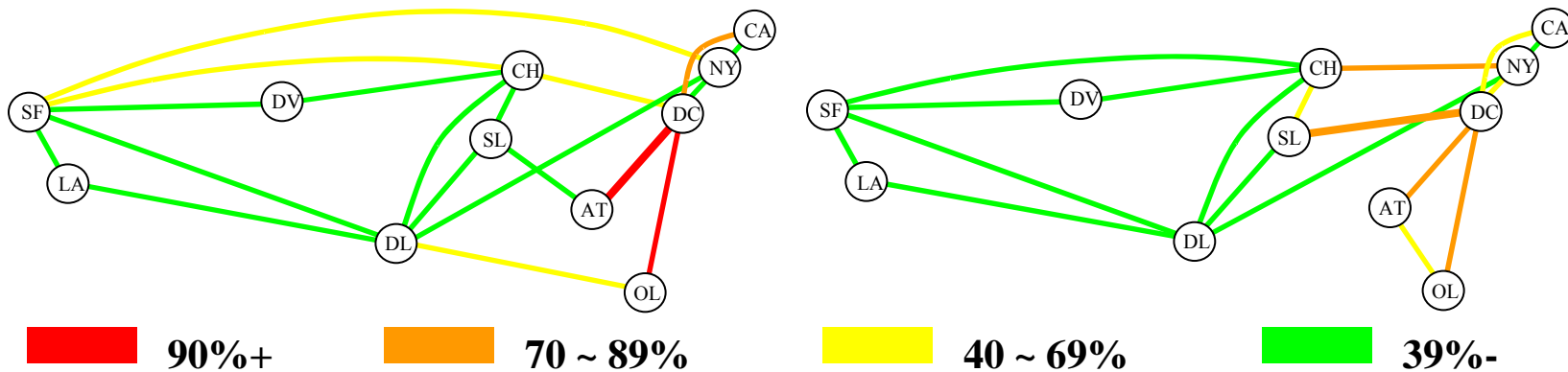
Forgalomvezérlés a topológia átkonfigurálásával



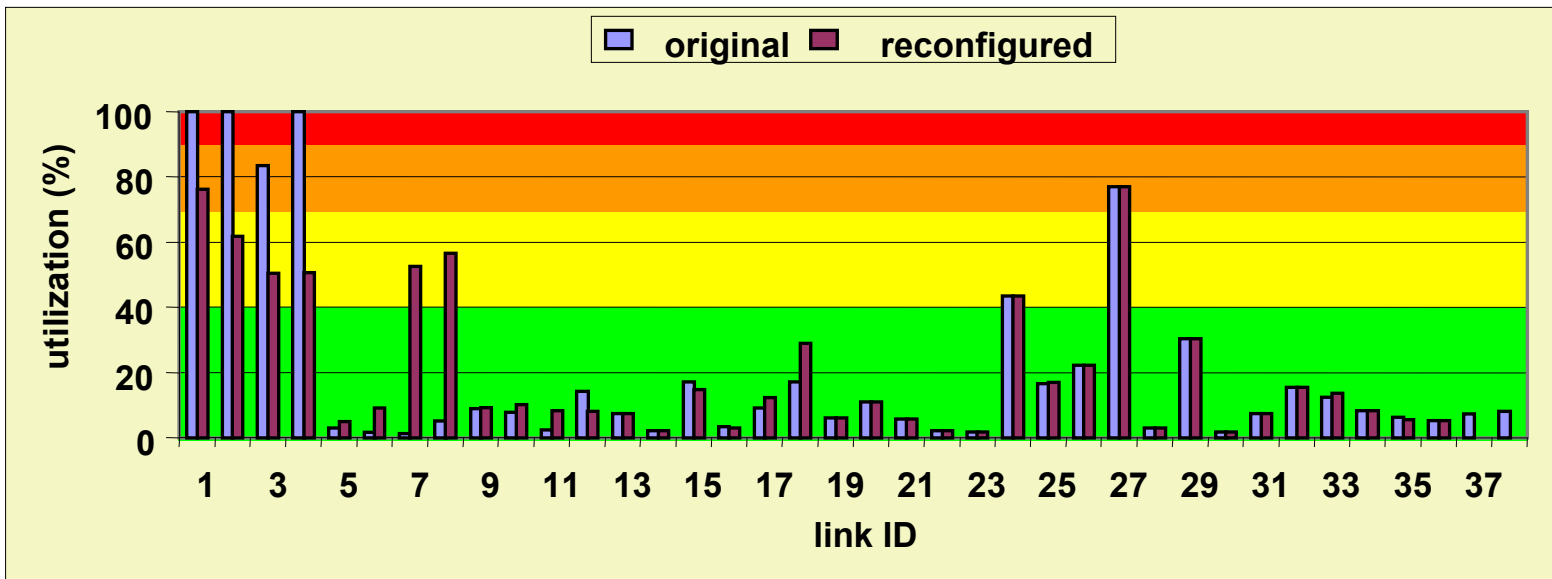
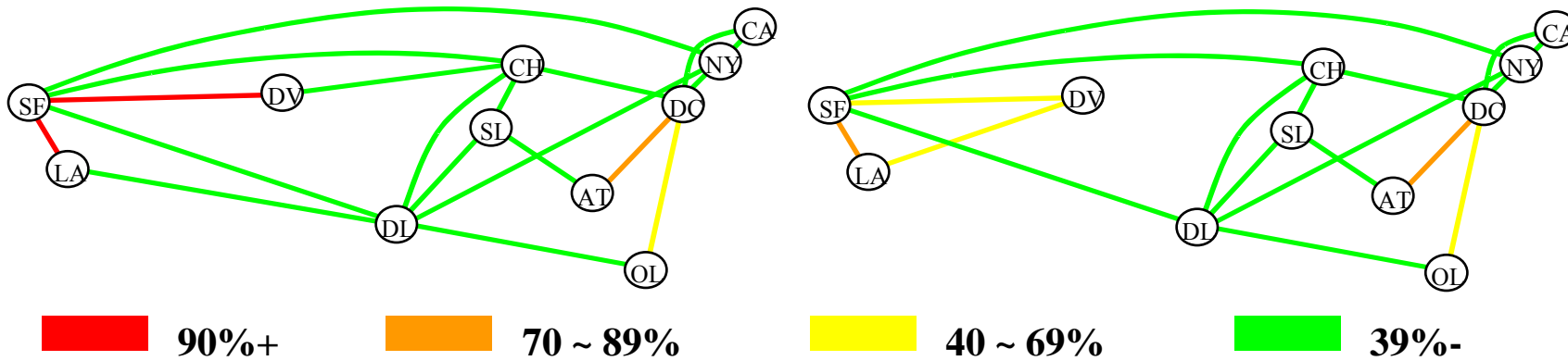
Szimulációs vizsgálat -- AT&T IP Backbone

Forrás: Ann Von Lehmen, Telcordia Technologies

Az átkonfigurálás hatása a szakaszok terhelésére



Forgalmi igények és a szakaszok terhelése



Forgalomvezérlés átkonfigurálással

Hatások

- **Torlódások csökkentése, terhelés szétosztása**
- **Költségmegtakarítás a router-portokon**
 - **44% a szimuláció alapján**
- **A WDM réteg átkonfigurálása az IP réteg forgalomvezérlésével (MPLS/TE) összehangoltan működik**

IP és optikai réteg:

Az eddigiek összefoglalása:

Az átkonfigurálható optikai réteg:

- támogatja a nagykapacitású és nagyávolságú transzportot
 - csökkentheti a csomóponti architektúrák költségét
 - gazdagítja a forgalomvezérlési képességeket
- ***Továbbiakban:***
- IP/WDM hálózatmenedzsment megközelítések
 - Független IP és optikai réteg
 - az optikai overlay
 - Integrált IP és optikai réteg
 - gyorsabb szolgáltatás és hatékonyabb erőforrás-kihasználás?