

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mérnök informatikus szak, mesterképzés – Hírközlő rendszerek
biztonsága szakirány

Villamosmérnöki szak, mesterképzés - Újgenerációs hálózatok szakirány

BMEVIHIM134 Hálózati architektúrák

Technológiai és csomópoti architektúrák, hálózatvezérlés

Jakab Tivadar

Híradástechnikai tanszék

2009



Transzporthálózat

- Hagyományos technológiák
 - IP
 - ATM
 - SDH
 - WDM



Transzporthálózat

- Új technológiák
 - ng SDH
 - GbE, 10GbE
- Legújabb
 - harmadik generációs SDH
 - CET
 - ION, ASON,
 - Ng WDM (AON)
 - (OBS,OPS)



Transzporthálózat -Trendek

- QoS képesség: IP-MPLS/TE Diffserv
- Differenciált védelmi képességek
- ng SDH vagy GbE/10GbE
- ng WDM (AON)
 - egyre intelligensebb, egyre jobban menedzselhető optika
 - Megnövelt vonali jelsebesség és áthidalható távolságok (erősítetlen szakasz, erősített szakaszok száma)
- Több rétegfunkció egy eszközben, több réteg integrált menedzselése



Transzporthálózat - Általános elvárások

- Végfelhasználó
 - Alapvetően nincsenek gerinchálózat-specifikus elvárások, ezek a végponttól végpontig terjedő transzportból származtathatók
- Szolgáltató
 - transzparencia
 - menedzselhetőség

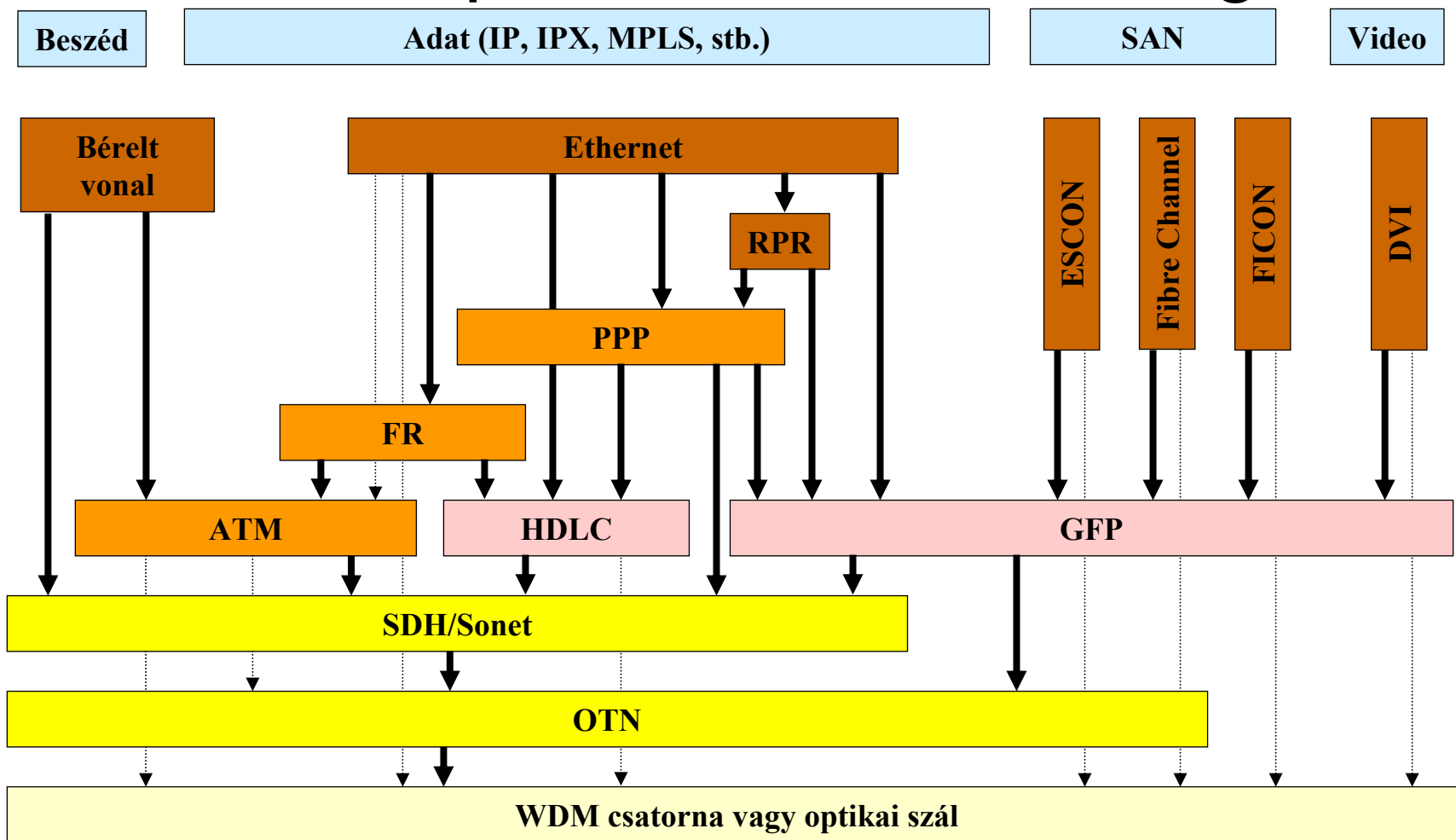


Nagyvárosi hálózatok –speciális vonatkozások

- Sok szolgáltatás, sok technológia, sokféle kliens, néhány példa a teljeség igénye nélkül:
 - PSTN, GSM, TDM bérelt vonal – SDH
 - ADSL, UMTS – ATM, CCE
 - SAN – FC
 - video-szétosztás – L3 multicast
 - Optikai csatorna - WDM



Nagyvárosi környezet: kliensek, protokollok, technológiák



Forrás: E. Hernandez-Valencia, Lucent, IEEE Comm. Mag. 2002. május



Optikai hálózatok

- Folyamatosan növekvő sávszélesség igény kielégítése olcsón
- Korszerű menedzselési funkciók támogatása az optikai hálózatban (gerinc és nagyvárosi)
- Egyszerűbb protokoll stack



IP és optika: Együtt hatékonyabb?



*IP és optikai hálózat:
Az IP forgalom hatékony
szállítása optikai
transzporttal*

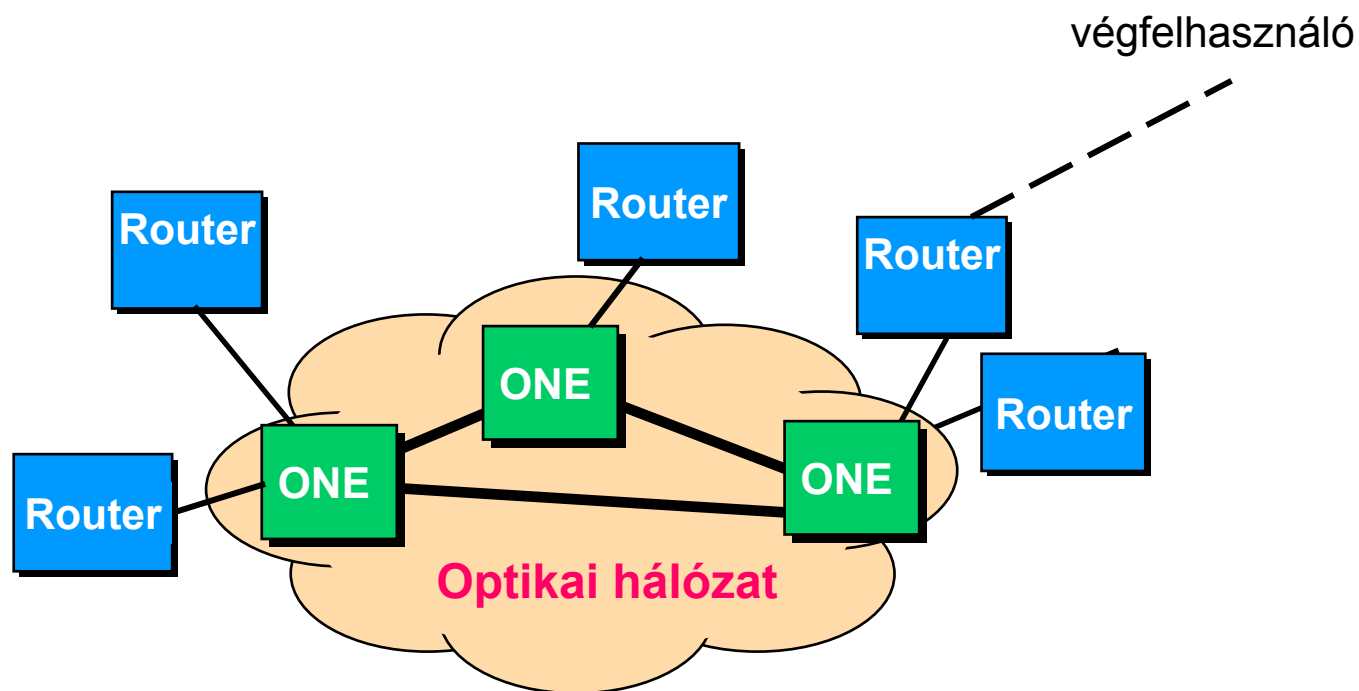


Tartalom

- Mi a szerepe az IP klienst kiszolgáló optikai rétegnek?
 - szállítás
 - védelem
 - az IP routing költségeinek csökkentése
 - a forgalomvezérlés optikai szintű támogatása



Hálózati alapváltozat: IP routerek + optikai hálózatelemek

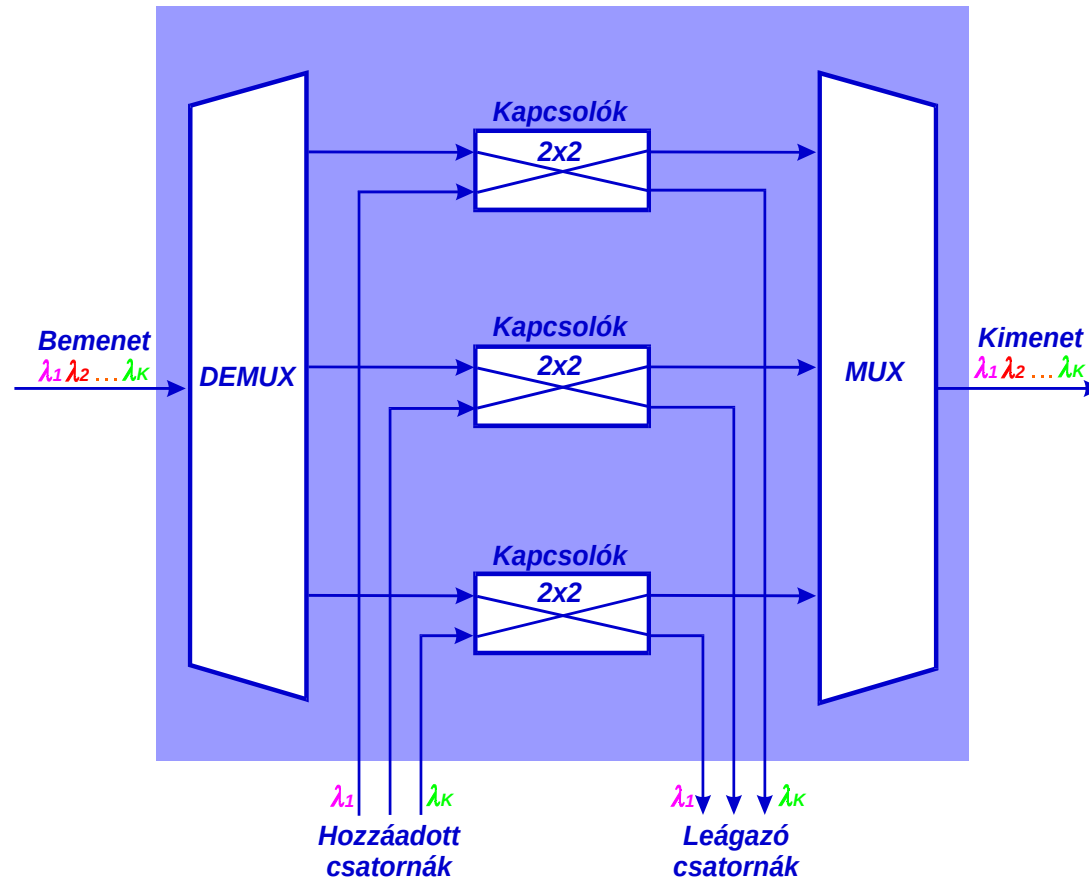


Az optikai hálózatok építőelemei: Konfigurálható optikai leágazó multiplexerek (ROADM)

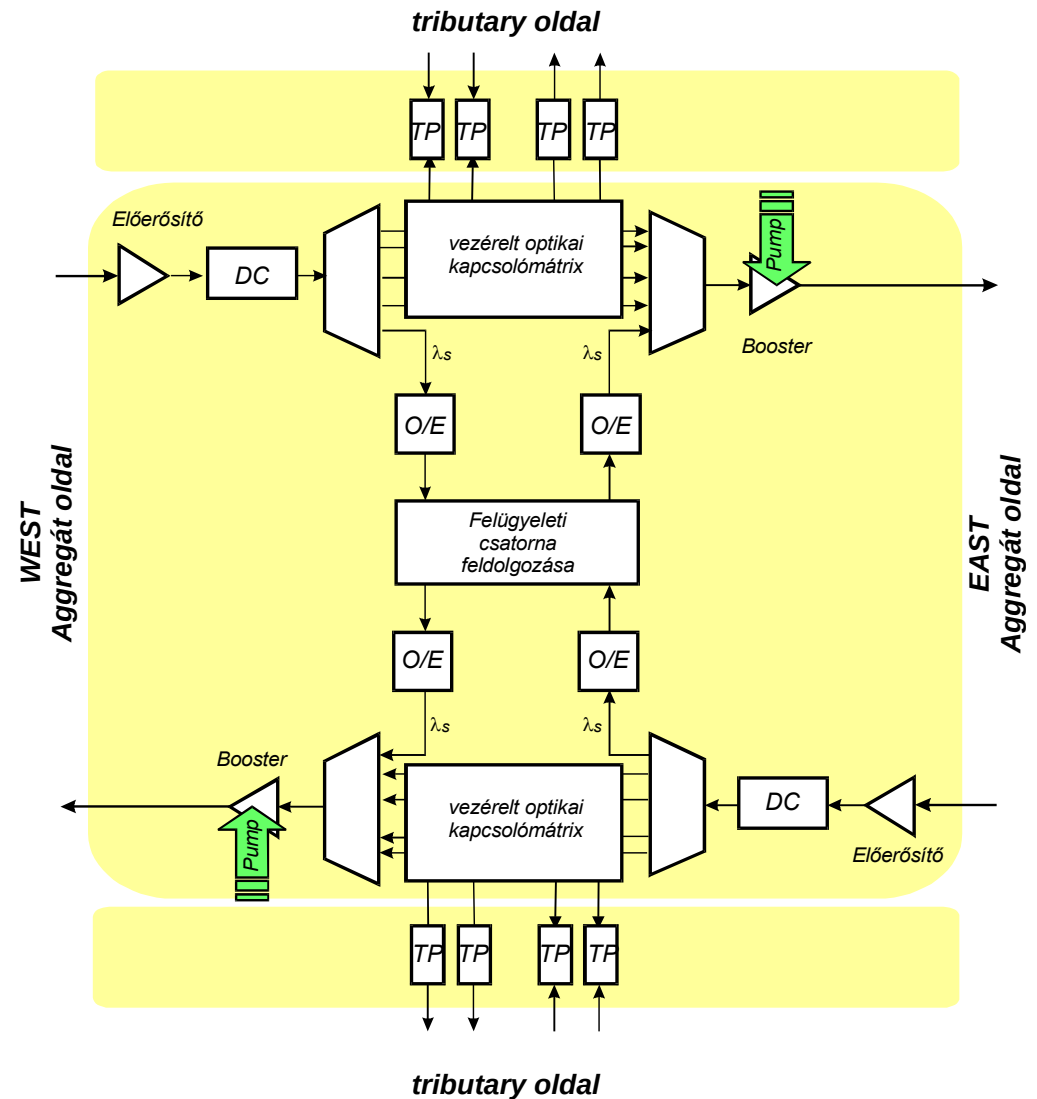
- másodfokú pontokban flexibils hozzáférés az optikai réteghez
- egyszerűbb, olcsóbb, mint az OXC
- de: összekapcsolhatóság
- intelligens hálózatmenedzsment szükséges



Dinamikusan konfigurálható OADM



Dinamikusan konfigurálható OADM



DC: Diszperzió kompenzálás

O/E: Optikai / elektromos átalakítás

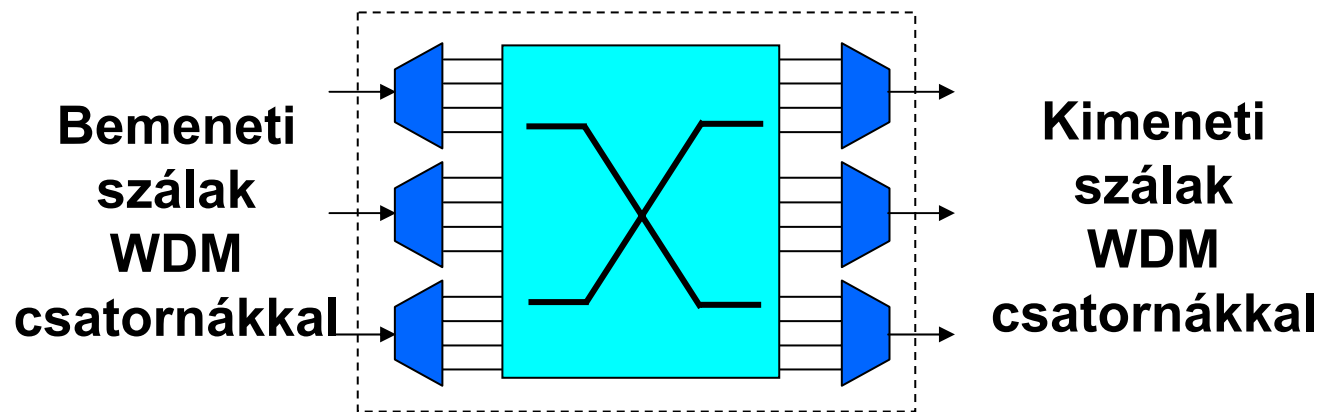
λ_s : Felügyeleti csatorna hullámhossza

TP : Transzponder



Az optikai hálózatok építőelemei:

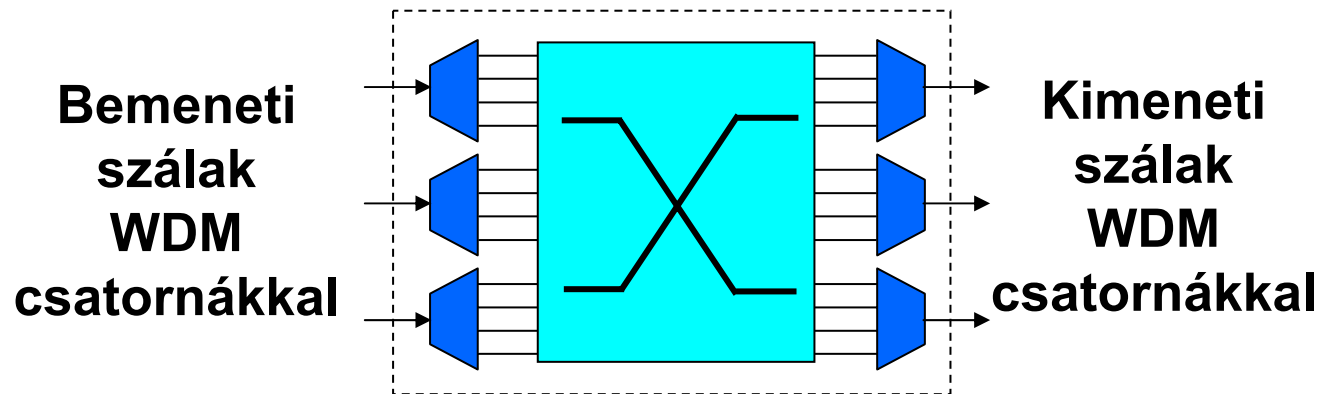
Optical Cross-Connects (OXC)



- Az OXC a bejövő optikai jeleket switches signals on input $\{\text{hullámhossz}_i, \text{optikai szál}_k\}$ kapcsolja (*konfigurációs vagy védelmi célú kapcsolás!*) a kimenetre $\{\text{hullámhossz}_m, \text{optikai szál}_n\}$



Optical Cross-Connects (OXC)



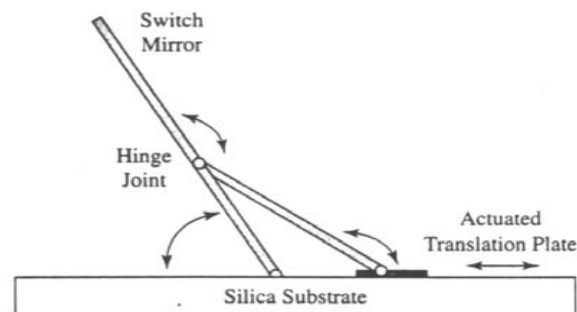
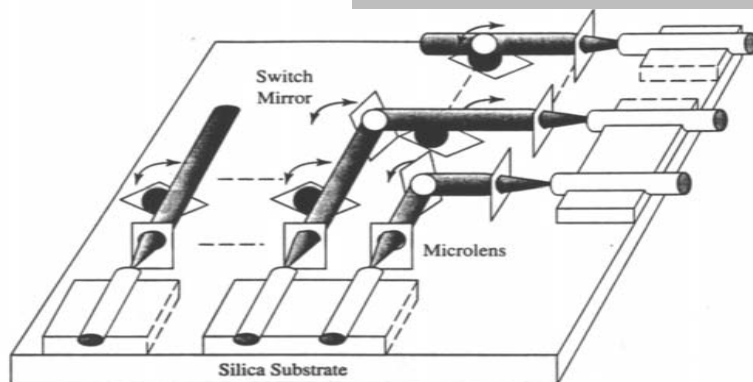
- 'Opaque': o-e, e-o, kapcsolás az elektromos tartományban
- 'Transzparens': o-o-o, kapcsolás az optikai tartományban
- Hybrid, (o-e-o): kapcsolás az optikai tartományban, o-e-o
- Hybrid: kapcsolás az mind az elektromos, mind az optikai tartományban
- Hangolható lézerek + passzív waveguide grating (AWG)/MEMS alapú kapcsolás



Az OXC belseje: optikai tartománybeli kapcsolás – MEMS

Schematic Drawings of a Micro-machined Free-Space Matrix Switch

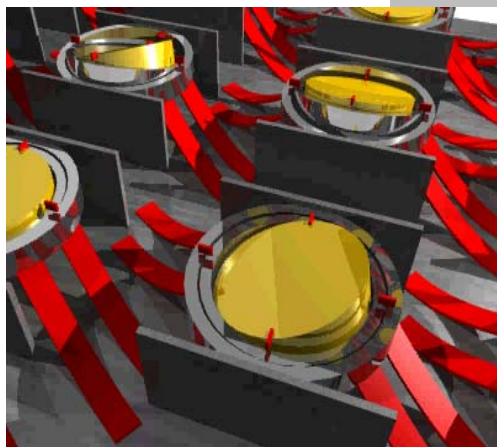
Forrás: Lucent



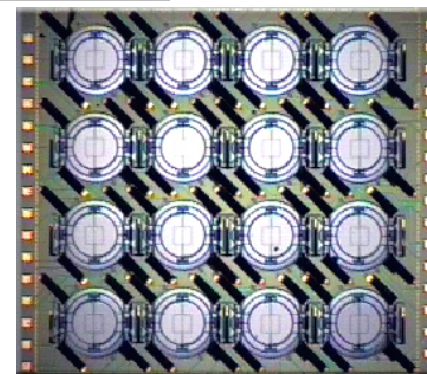
Kapcsoló tükör

Lucent MicroStar™ MEMS Based Mirror Array Technology

Forrás: Lucent



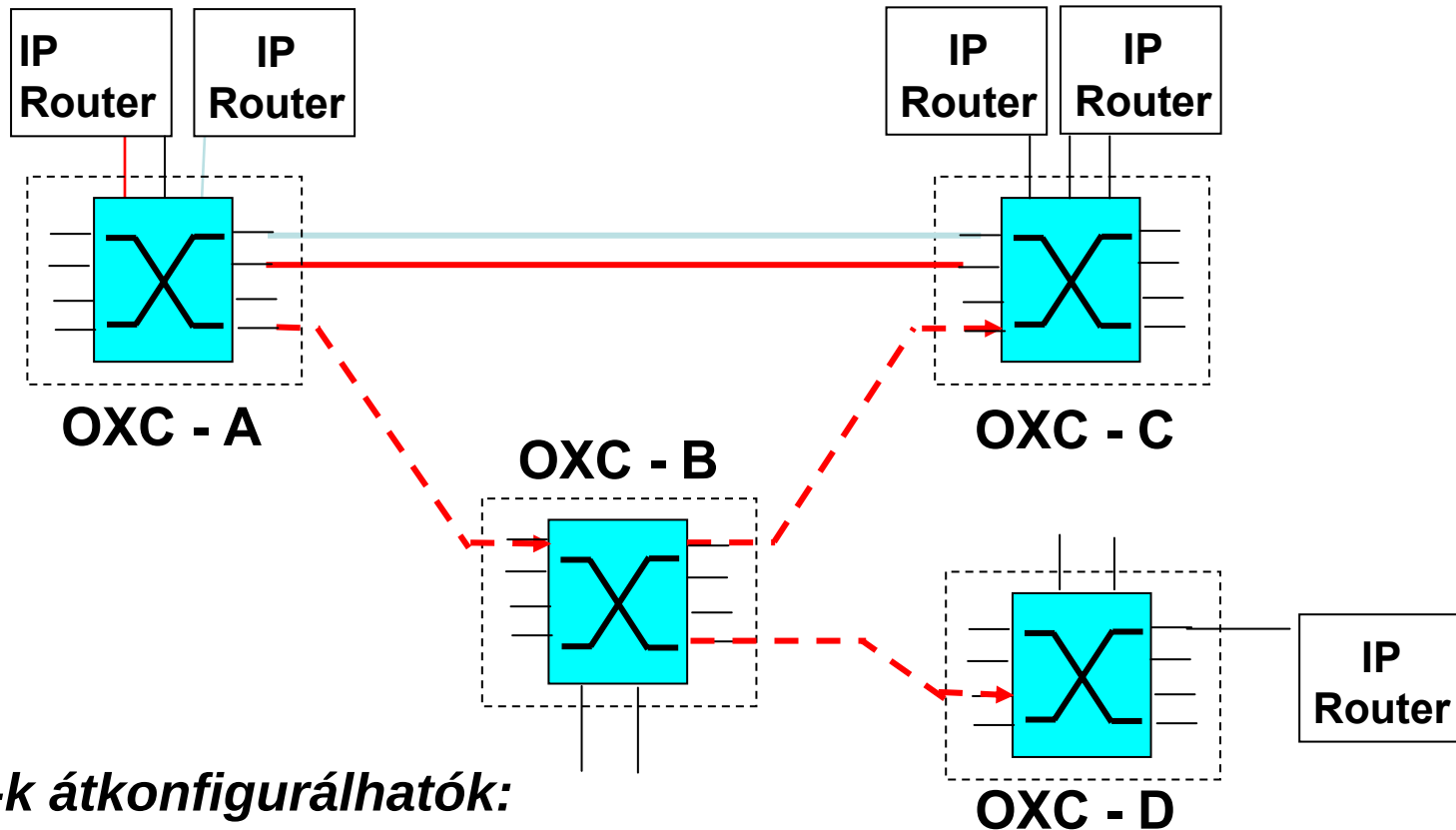
Két tengelyes mikrotükör



Két tengelyes mikrotükrök 4×4-es mátrixa



Az optikai réteg egy fontos képessége: átkonfigurálhatóság



Az OXC-k átkonfigurálhatók:

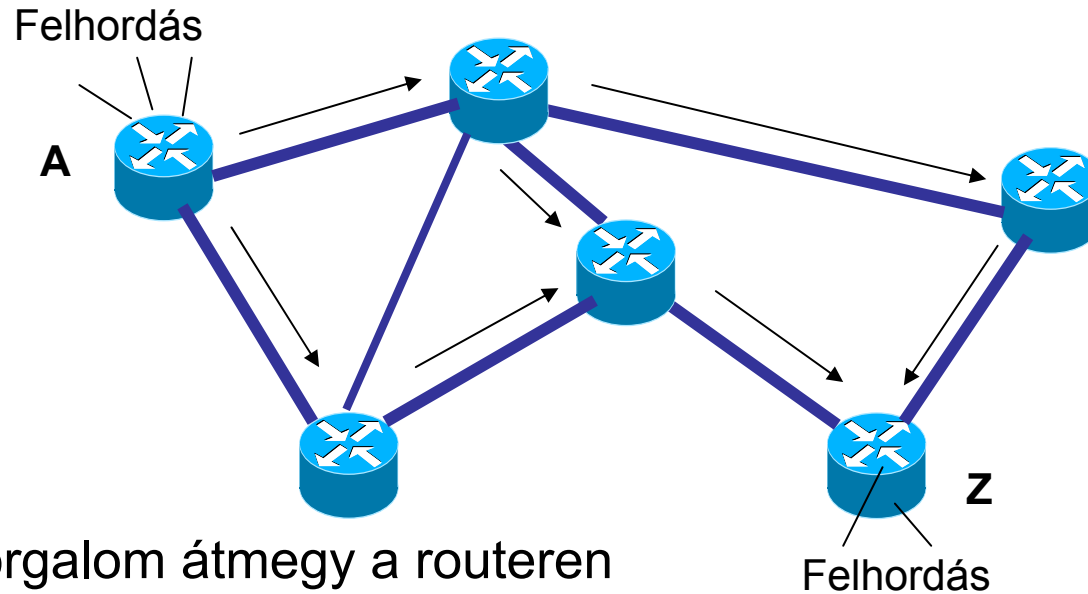
- *helyreállítás céljából (hálózatvédelem)*
- *A logikai topológia megváltoztatására (IP routerek összekapcsolása)*



Miért fontos az optikai réteg konfigurálhatósága az IP számára?



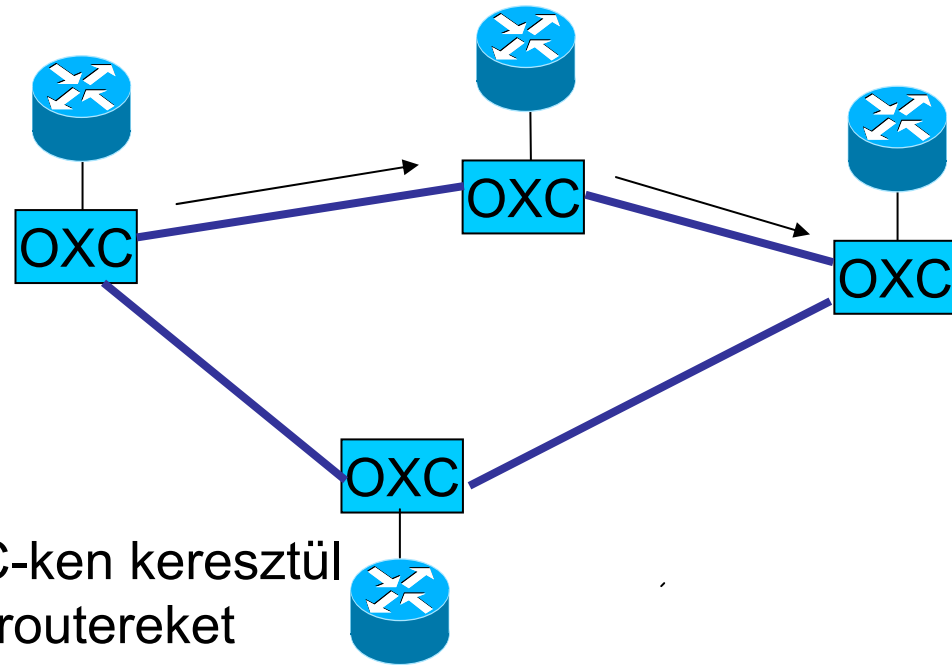
1. architektúra: Big Fat routerek és összeköttetések



- 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-en 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)

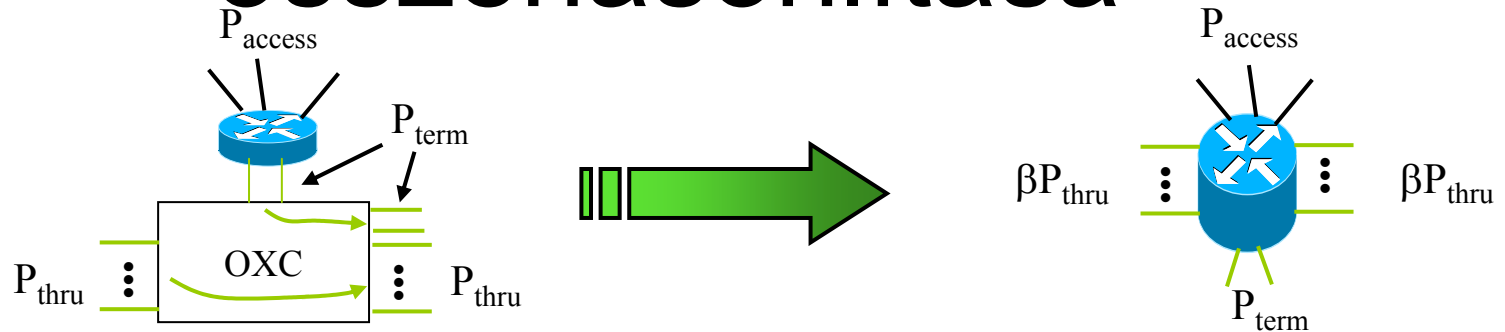


Teljesítmény/költség összehasonlítás: Pont-pont és flexibilis optikai hálózat

- Teljesítmény-vonatkozások
 - IP csomagkészletelés-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
 $2(\alpha+1)P_{\text{term}}C_{\text{OXC}} + P_{\text{term}}C_R$

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

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

C_R = router port költség hullámhosszanként

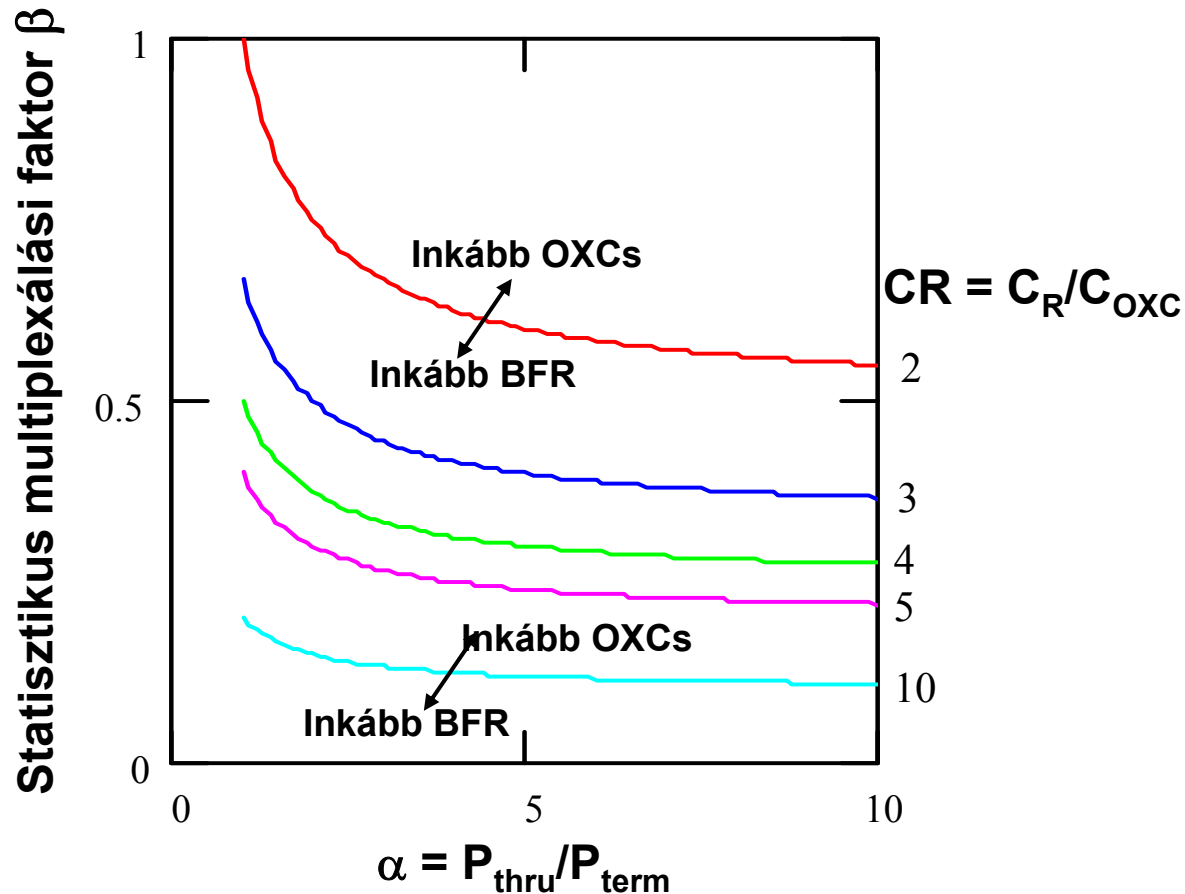
C_{OXC} = OXC port költség hullámhosszanként λ

β = statisztikus multiplexálási faktor

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



Eredmény:



BFR = Big Fat Router
OXC=Optical Cross Connect



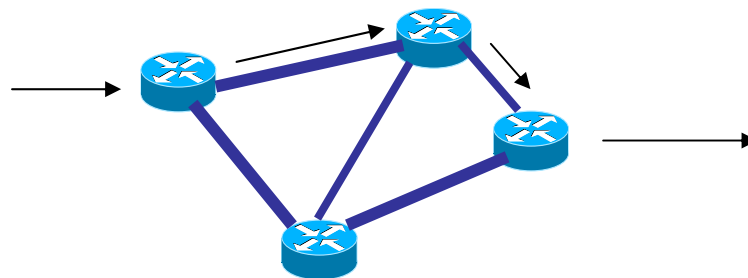
IP / WDM forgalomvezérlés

- **Forgalomvezérlési célkitűzések**
- **A hálózati erőforrások kihasználtságának optimalizálása:**
 - csökkenteni a torlódást & javítani a *throughput*ot
 - 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

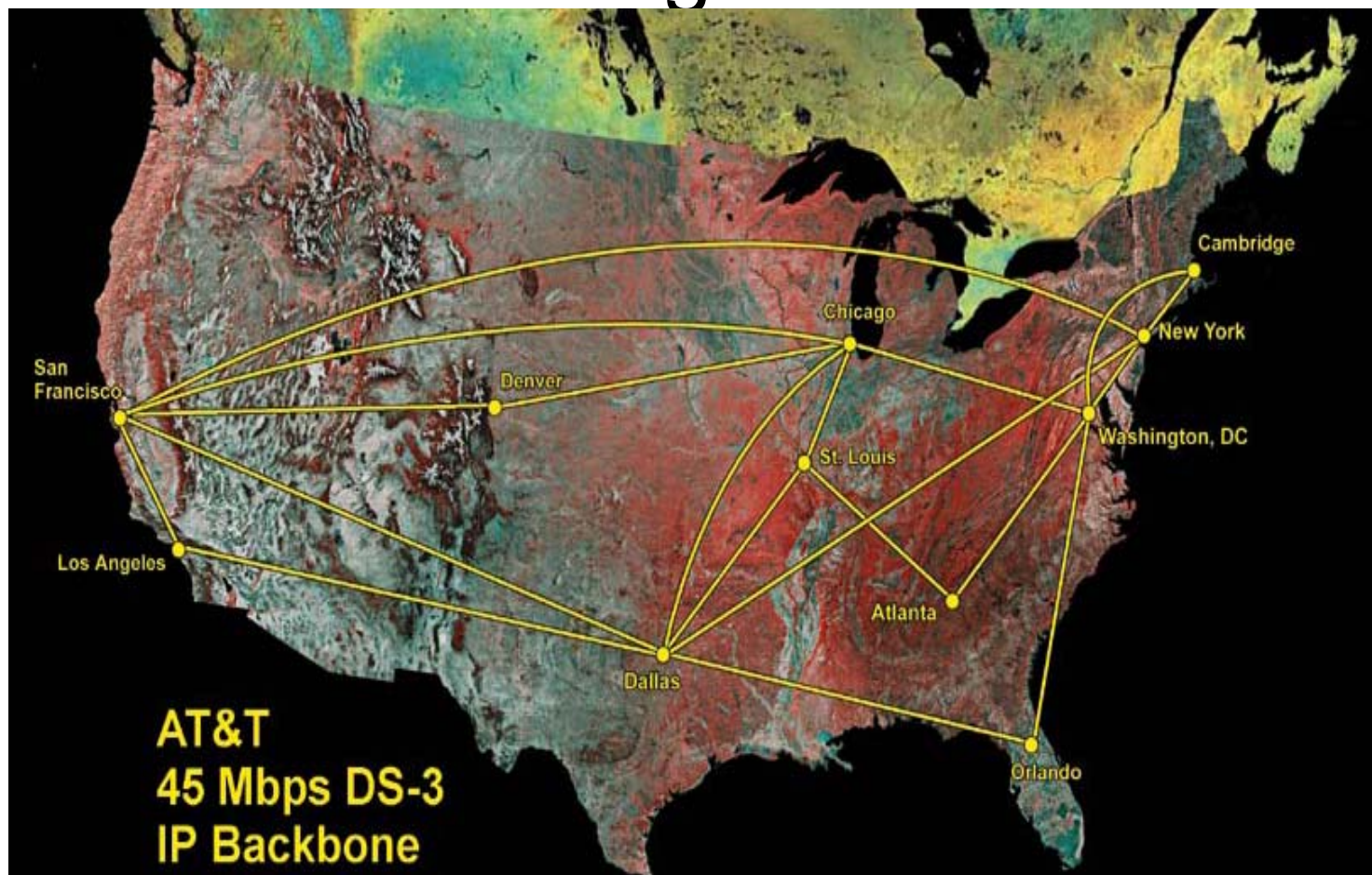
- A hagyományos IP routing során minden router önálló, szakaszalapú döntést hoz a továbbításról
- Az IP-MPLS hálózatban a csomagok FEC-be rendezése egyszer, a hálózatba belépéskor történik, a csomaggal együtt továbbított címke meghatározza a hálózaton áthaladás útvonalát
- Az MPLS biztosítja az utak 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

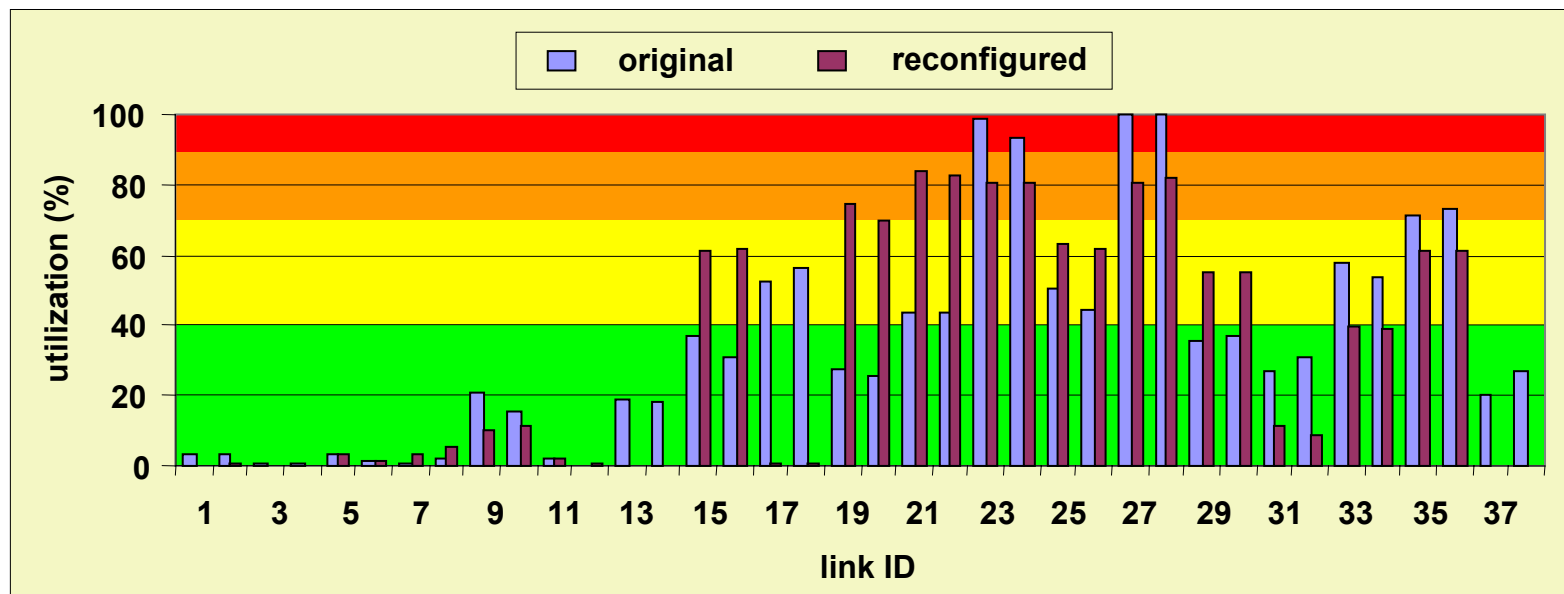
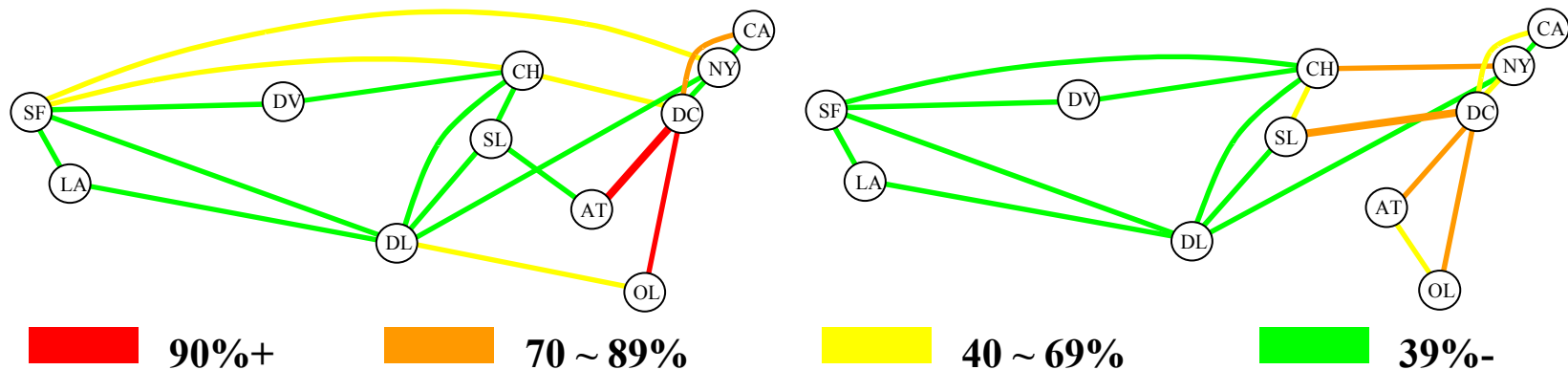


Szimulációs vizsgálat -- AT&T IP Backbone

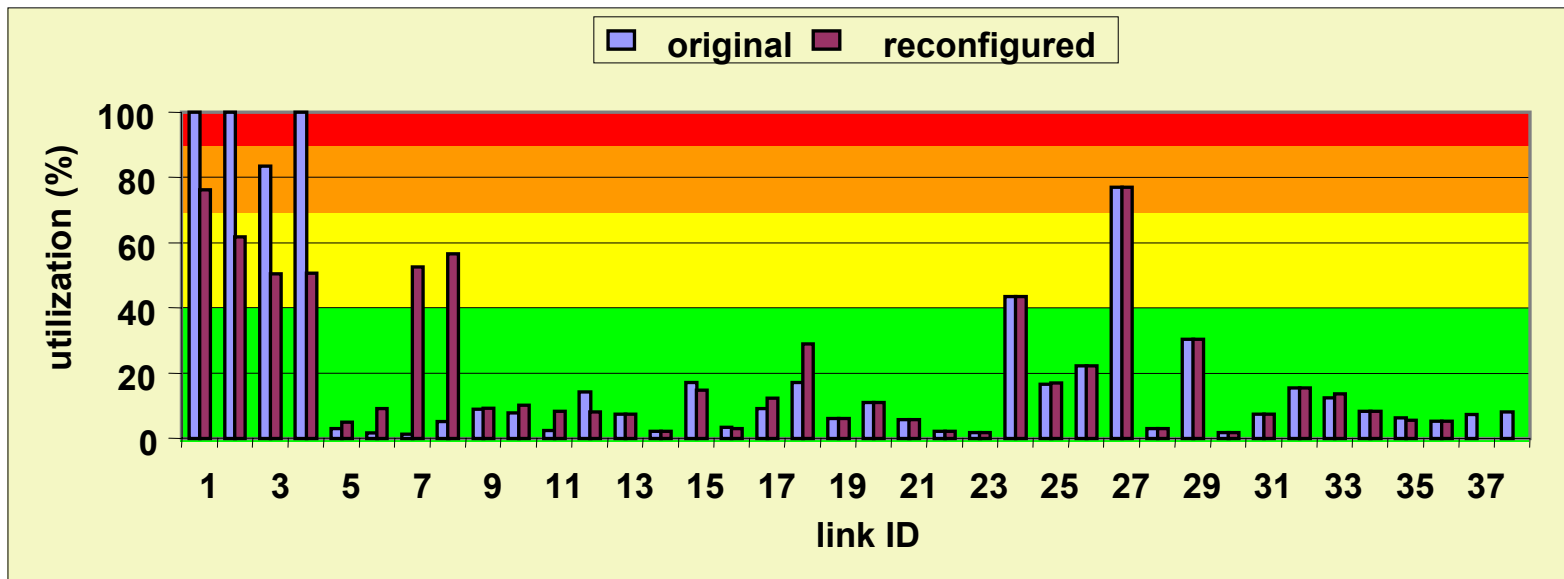
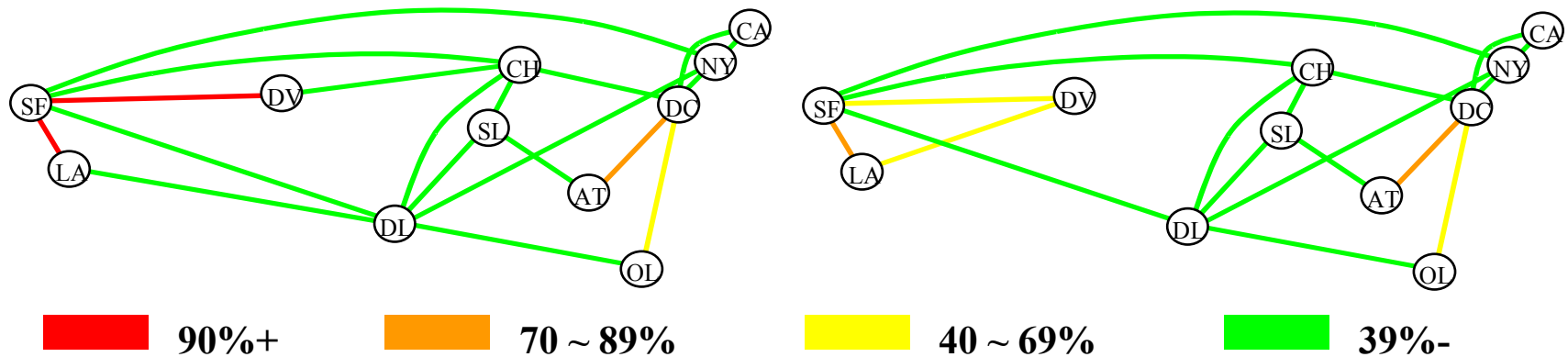
Forrás: Ann Von Lehmen, Telcordia Technologies



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 nagy távolságú 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?

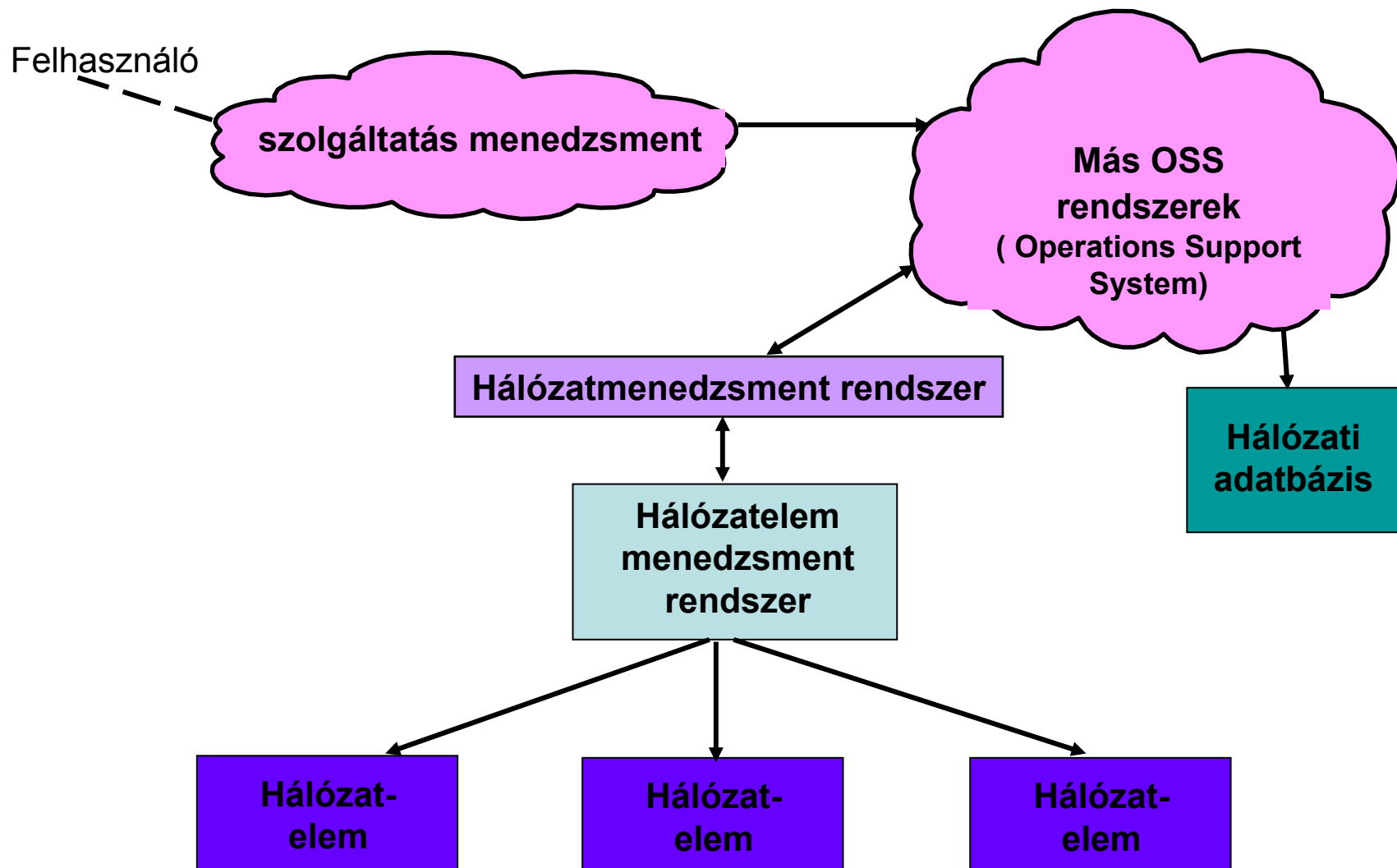


Tisztán optikai hálózatok

- Jelenlegi WDM: o/e/o jelkezelés, transzponderek
- Cél: tisztán optikai jelkezelés (OXC, ROADM) – 6-800 km, 10-12 erősített szakasz



Hálózatmenedzsment



hálózatelemek = optikai, IP, SDH, stb.



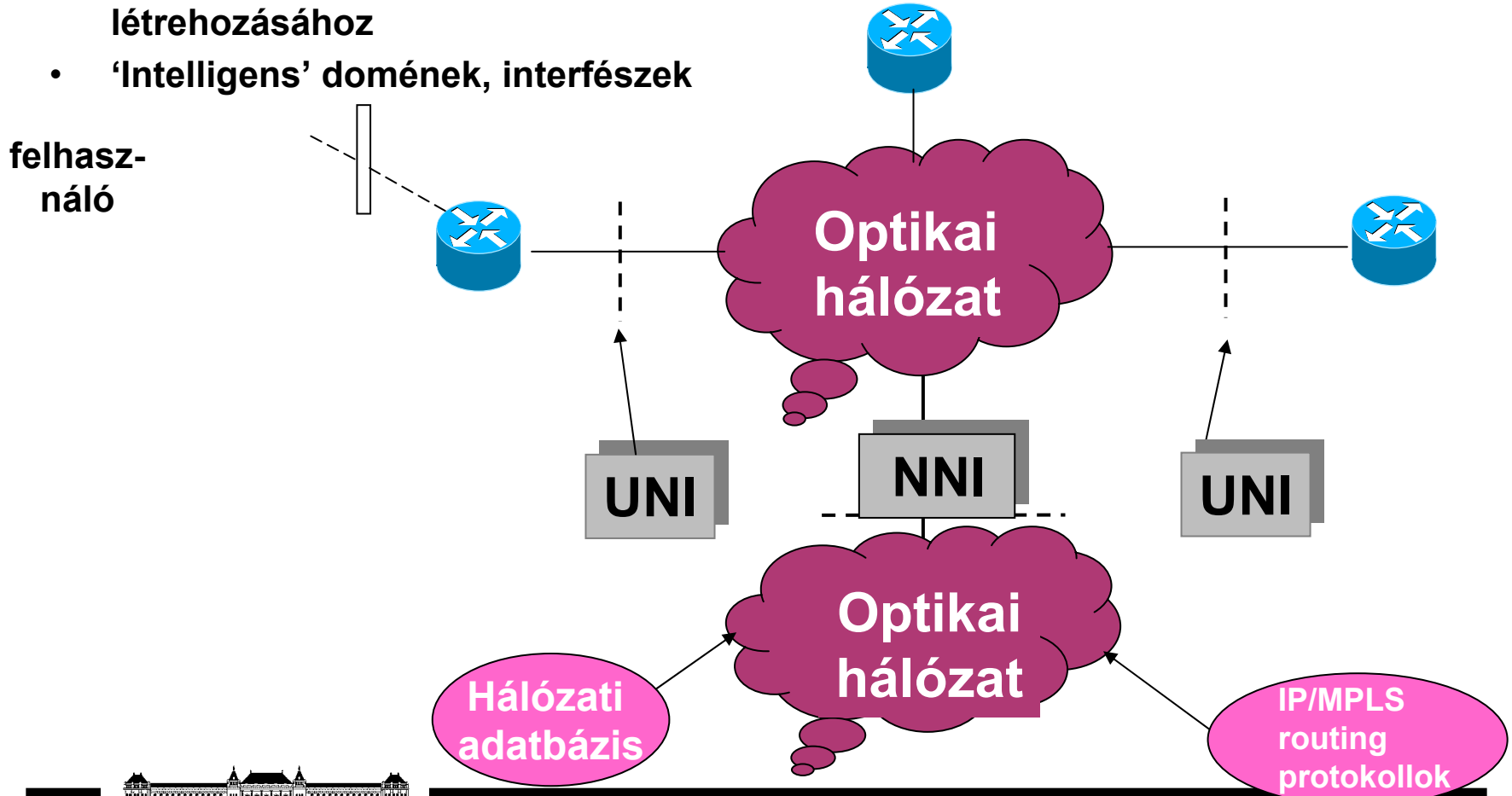
Dinamikus hálózatok

- **Statikus hálózatban:**
ritkán szükségesek forgalomvezérlési beavatkozások
csak telepítés-konfigurálás jellegű akciók
a centralizált menedzsment nagyszerűen megfelel (TMN)
- **Közeljövő?**
 - Szolgáltatási kérések dinamikusabb kiszolgálása szükséges
 - A centralizált menedzsment ehhez nem elég gyors, és nem jól skálázható
- **Szolgáltatási hajtóerők a dinamikus hálózatokhoz**
 - Szükség szerint változó sávszélesség
 - Storage Area Networks (SAN)
 - GRID computing
 - Nagysebességű összeköttetések az ISP-k, ASP-k számára

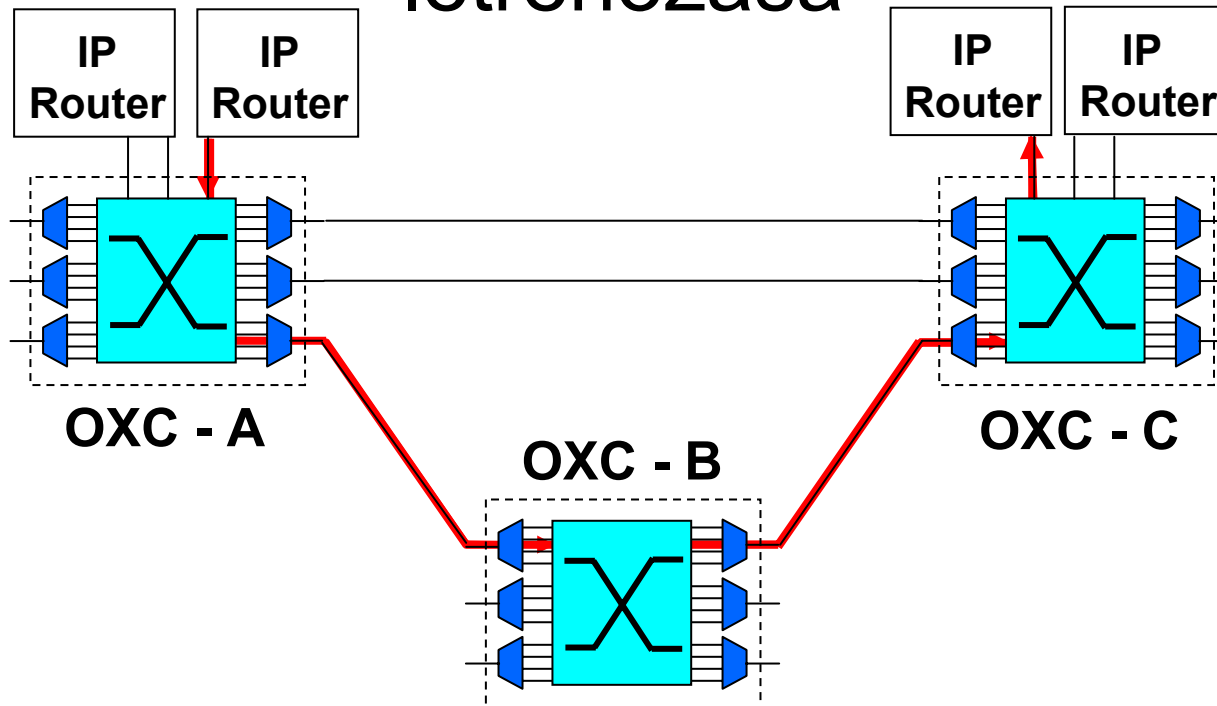


Egy új megközelítés:

- Az IP réteg sávszélesség igényeit az optikai réteg közvetlenül szolgálja ki
- Az optikai útvonalválasztás IP-MPLS-szerű protokollokat használ:
Automatikus topológia-felderítés(routing table), útvonalválasztás szolgáltatási paraméterek alapján(sebesség, védelem, stb.), jelzések alkalmazása az utak létrehozásához
- 'Intelligens' domének, interfészek



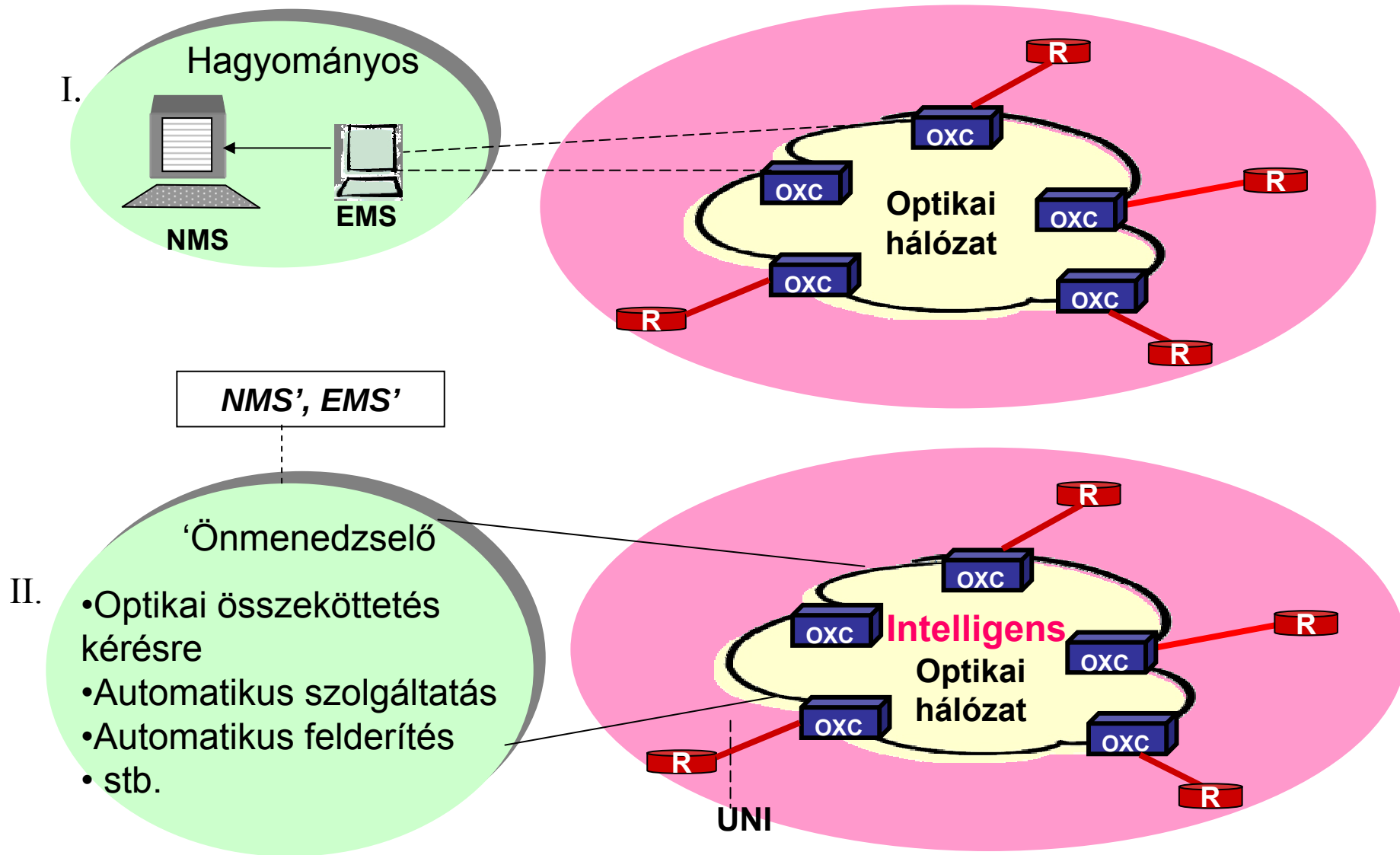
Egy példa: optikai összeköttetés dinamikus létrehozása



1. A router egy új optikai összeköttetést kér
2. OXC A: CAC és útvonalválasztás
3. Jelzések az út felépítésére
4. A kapcsolat létrejött a router erről értesítést kap



Elosztott menedzsment és intelligens optikai hálózatok



Szükséges funkciók az UNI-ban

- Gyors csatornafelépítés a kliens csatlakozási pontjai között
 - QoP támogatás több védelmi osztályra
 - Jelzések a csatornafelépítéshez
 - Automatikus topológia-felderítés
 - Automatikus szolgáltatás-felderítés
-
- Az Optical Internetworking Forum keretében folyik a munka az UNI és NNI definíciókon

Minden nagyobb gyártó implementált vezérlési síkot, kísérleti projektek, testbed-ek szép számmal



Emlékeztető: a kliens-szerver paradigma

- A kliens és az optikai hálózat útvonalválasztása független folyamatokban (lehetnek azonos, de függetlenül futó protokollok)
- A kliens és az optikai réteg között nincs útvonalválasztással kapcsolatos információcsere
- Így a forgalomvezérlés (*traffic engineering*) vagy a helyreállítás (*restoration*) összehangolása a – centralizált - menedzsmentre marad



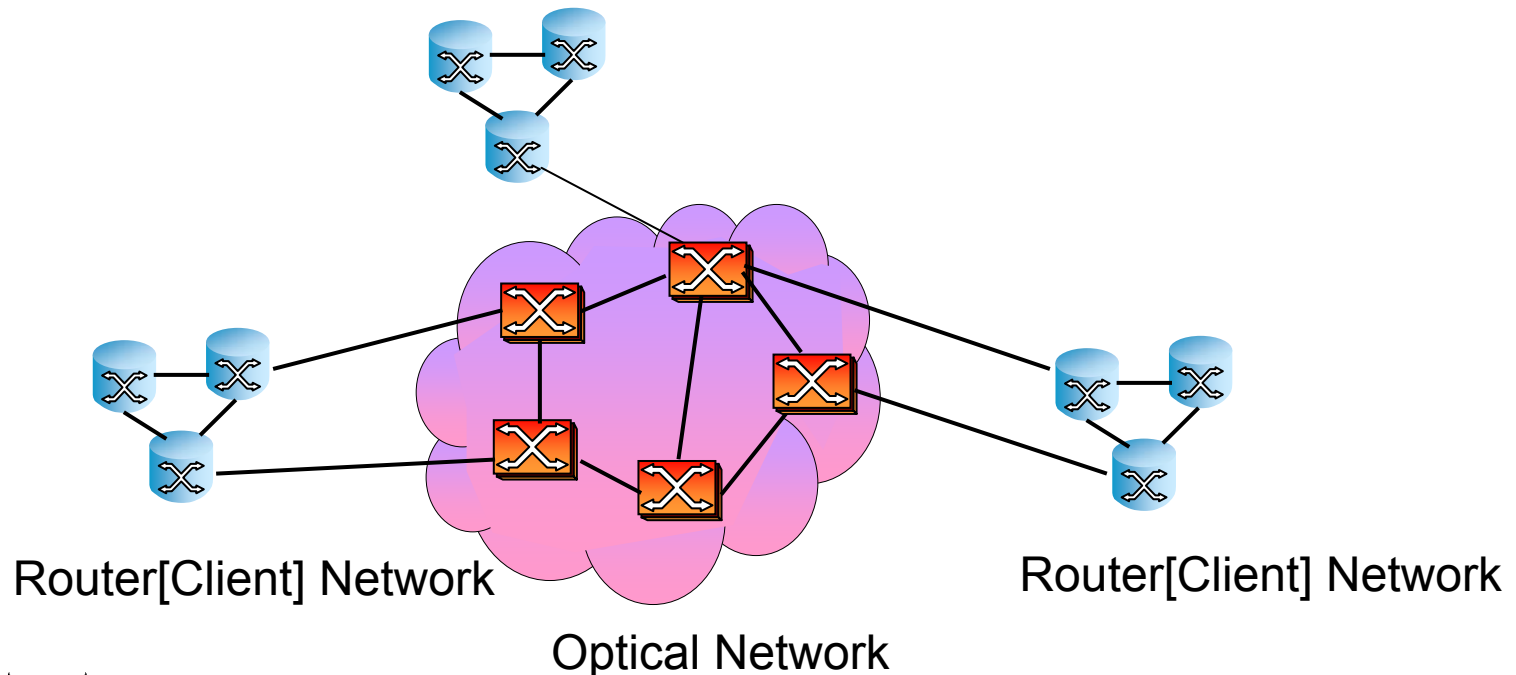
Az IP –s az optikai réteg integrációja: a peer modell

- Peer modell
 - Egyetlen útvonalválasztó protokoll az IP és az optikai réteg számára
 - A közös protokoll hirdeti a topológiai információkat
 - Az IP és az optikai réteg közös címezési sémát használ



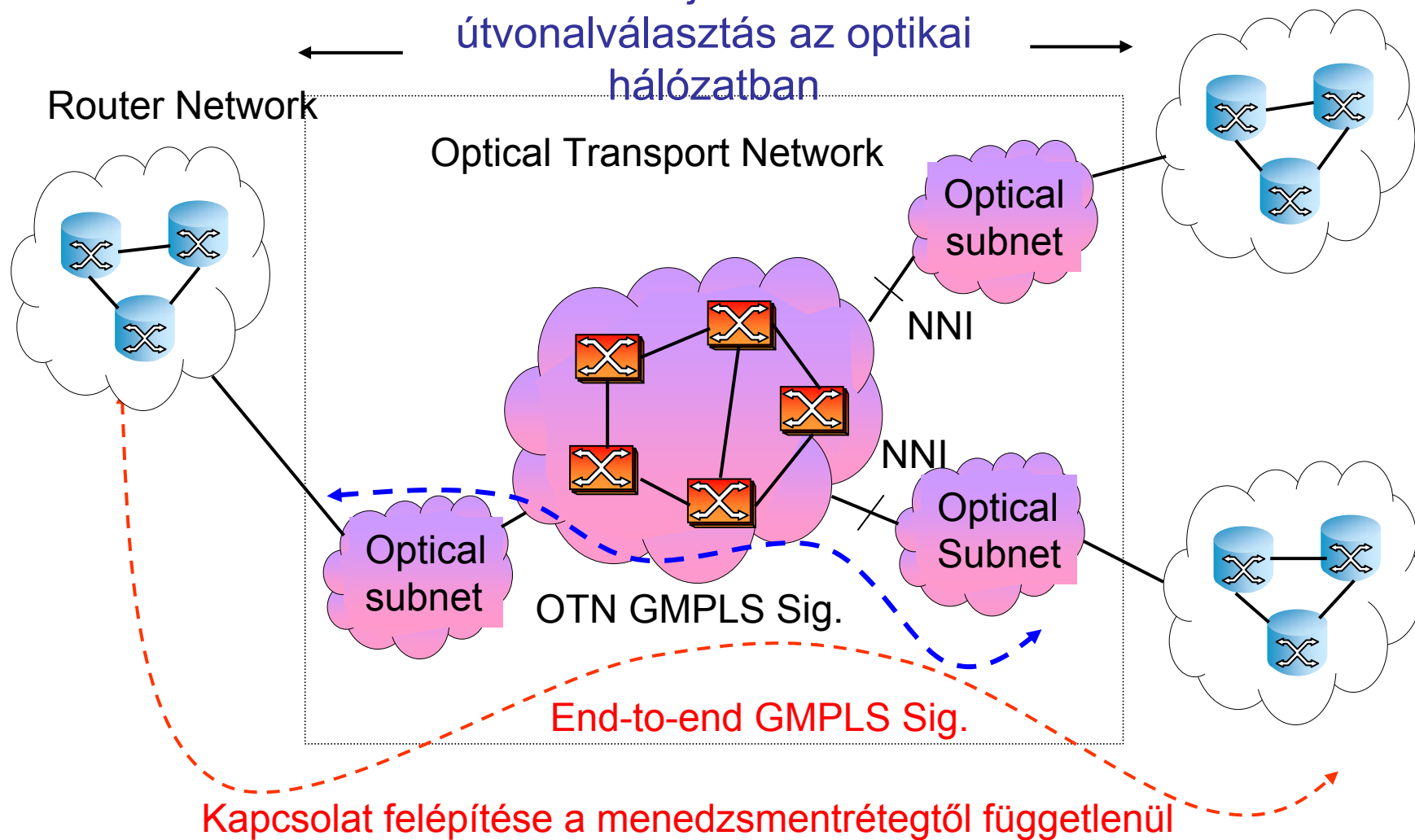
Peer Model

- Nincs optikai „UNI”: az egész IP+optikai hálózatot egyetlen hálózatként kezeljük. Azonos protokollokat (MPLS/GMPLS) alkalmazunk mind a kliens mind az optikai berendezésekben.
- A kliens berendezések az optikai hálózat állapotinformációit birtokolják és felelősek az útvonalválasztásért és kapcsolat-felépítésért
- Azaz, a routerek [kliens berendezések] tartalmazzák az intelligenciát és a hálózati állapot-információkat



A cél: integrált IP/optikai menedzsment

GMPLS jelzések és
útvonalválasztás az optikai
hálózatban



Alternatívák a kapcsolt optikai hálózatokra

- **Kliens-szerver (overlay) modell**

A kliens hálózat (IP, ATM, ...) vagy a felhasználói végberendezés erőforrásokat (OCh alapú összeköttetéseket) kér az optikai hálózati rétegtől (server), de nem ismeri annak belső szerkezetét

- ITU G.ASON “Automatic Switched Optical Network”
- OIF
- ODSI
- IETF G-MPLS “Generalized Multi Protocol Label Switching”

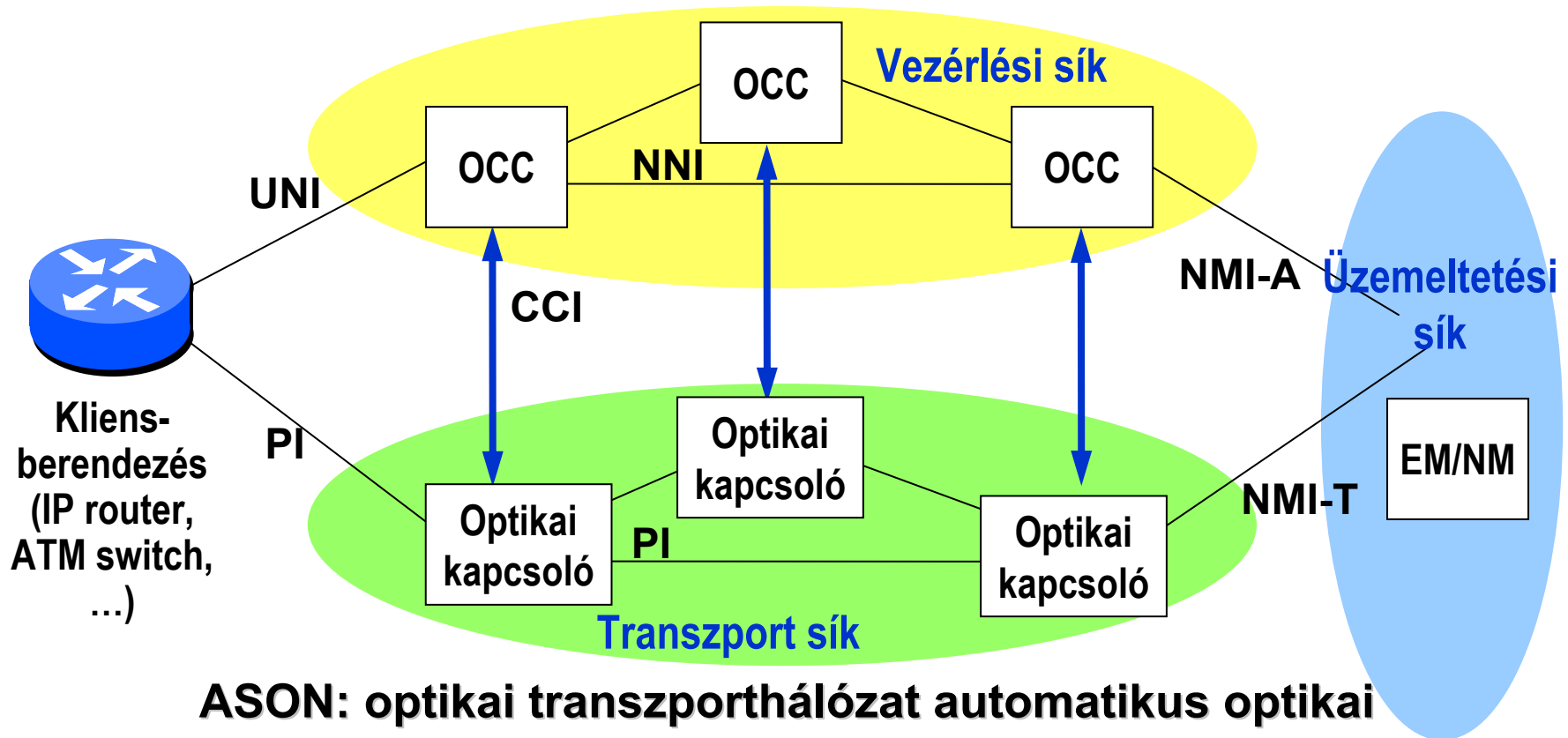
- **Peer-to-peer modell**

A kliens az IP réteg és az optikai hálózat vezérlése bele van integrálva az IP vezérlésbe (ekkor a kliens pontosan ismeri az optikai réteg belső szerkezetét)

- IETF G-MPLS “Generalized Multi Protocol Label Switching”



ASON logikai architektúra



ASON: optikai transzporthálózat automatikus optikai csatorna-kapcsolási képességgel

CCI: Connection Control Interface

NMI-A: Network Management Interface for the ASON Control Plane

NMI-T: Network Management Interface for the Transport Network

NNI: Network to Network Interface

OCC: Optical Connection Controller

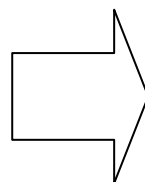
PI: Physical Interface

UNI: User to Network Interface



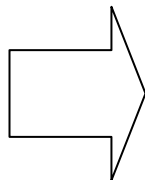
ASON motivációk

- Élesedő piaci verseny
- Nehezen prognosztizálható feltételek
- Gyors változások



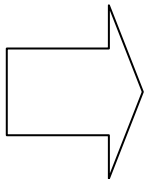
Automatikus
konfigurálhatóság

- Nagy koncentráció
- Kritikus hibahatások



Fejlett védelmi
technikák

- Változatos kliensek
- Nagy sáv szélesség-igények



Optikai csatorna
alapú
szolgáltatások



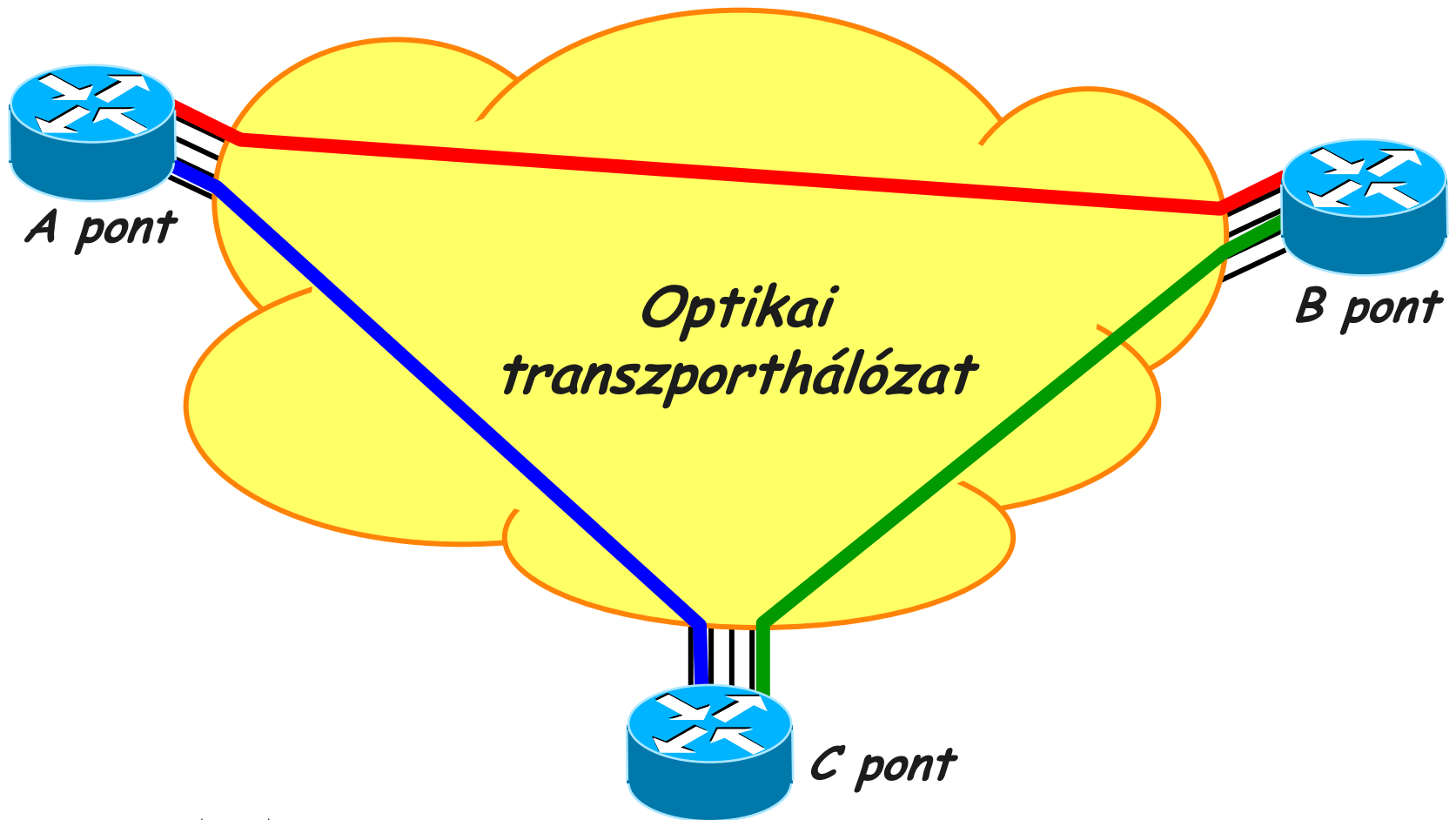
Egy szolgáltatás üzembehelyezési példa



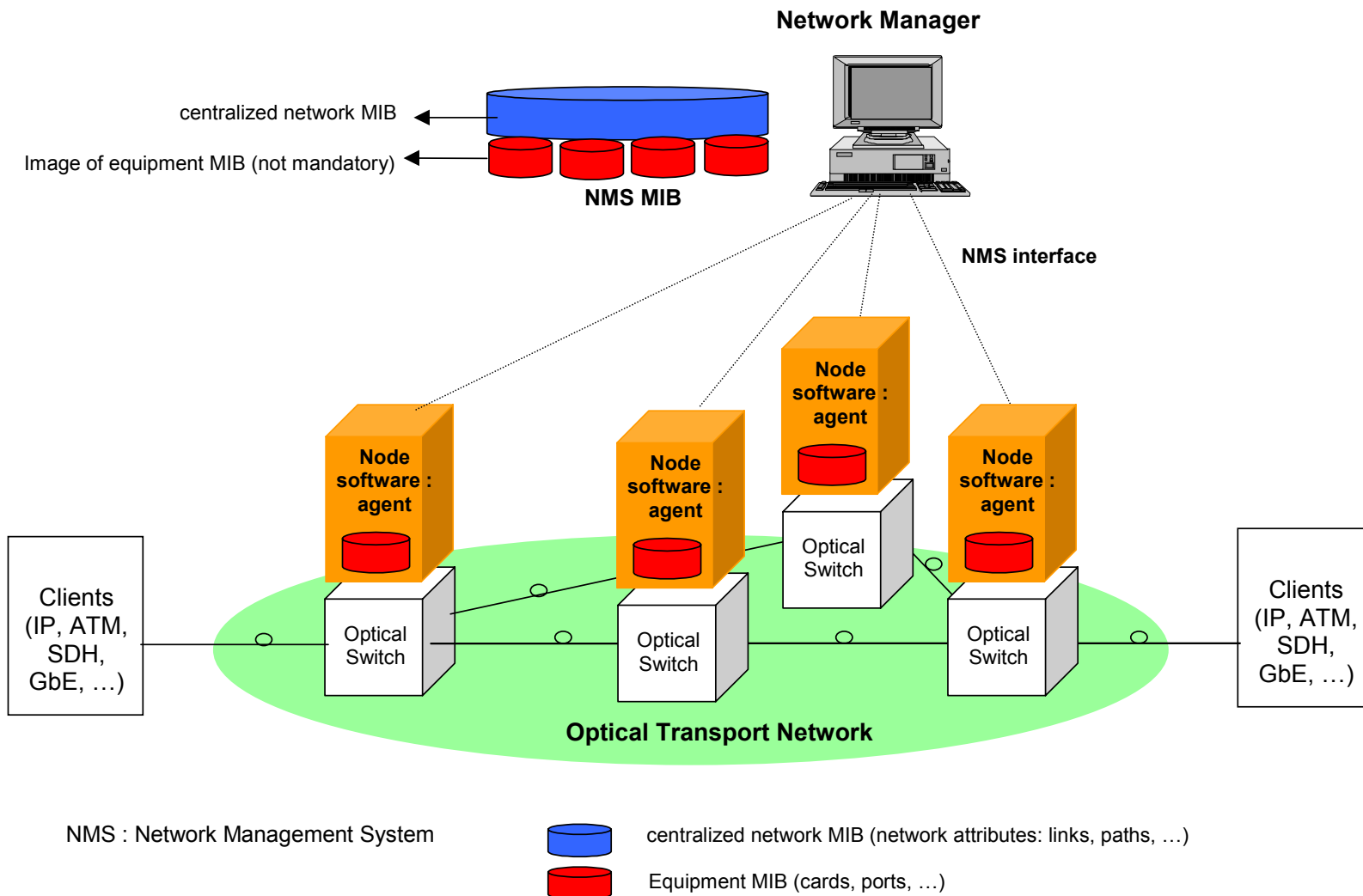
- ▶ **Permanens hálózati hozzáférést szeretnék (“bérelt” kapcsolat)...**
- ▶ **További hálózati hozzáféréseket szeretnék forgalmi igényeim függvényében (“on demand” kapcsolat...)**



“Bérelt” kapcsolat



Optikai hálózatok menedzselése



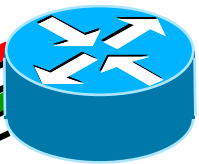
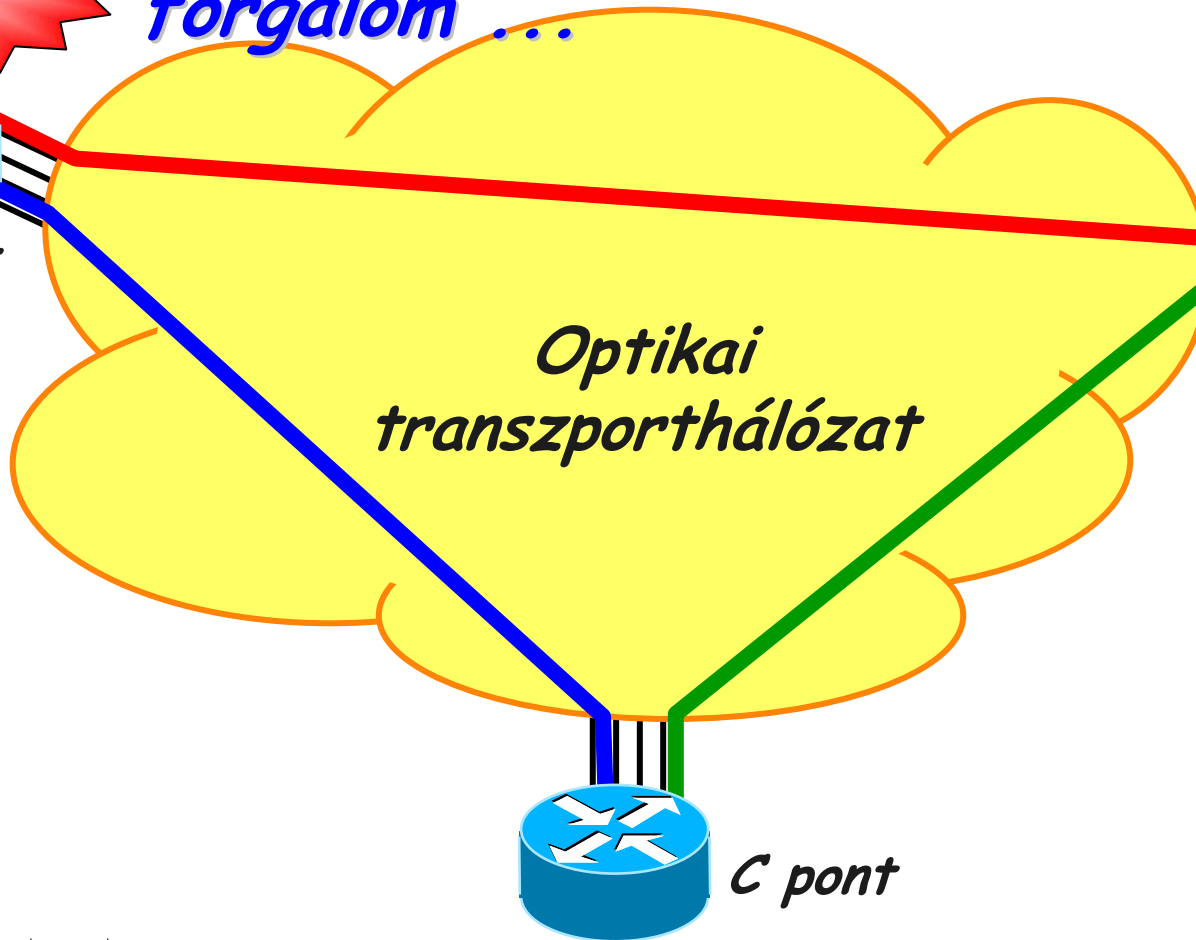
ASON nélkül, ha a forgalom nő ...

*Túl nagy
forgalom B
felé!*

*Növekvő
forgalom ...*



A pont



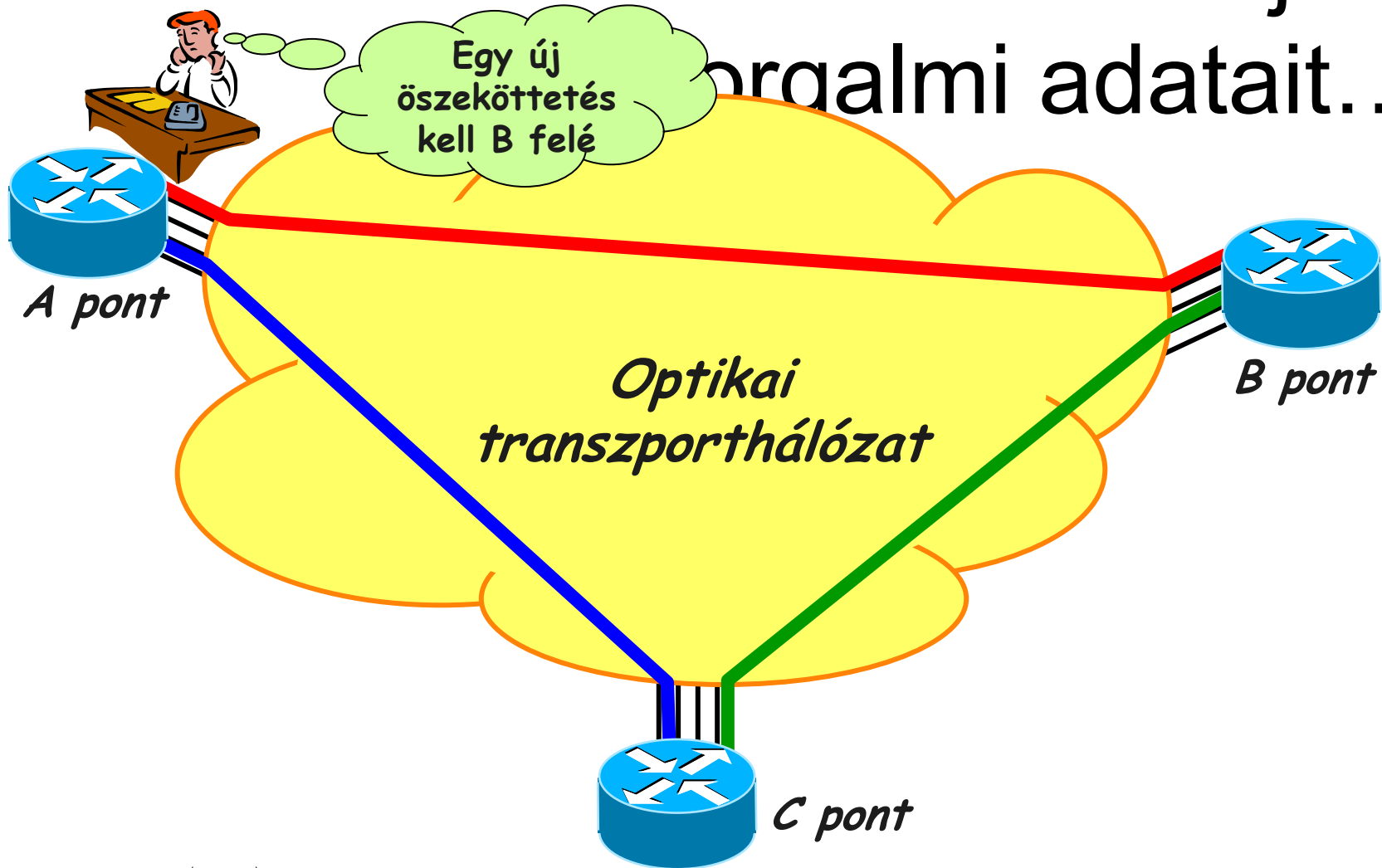
B pont



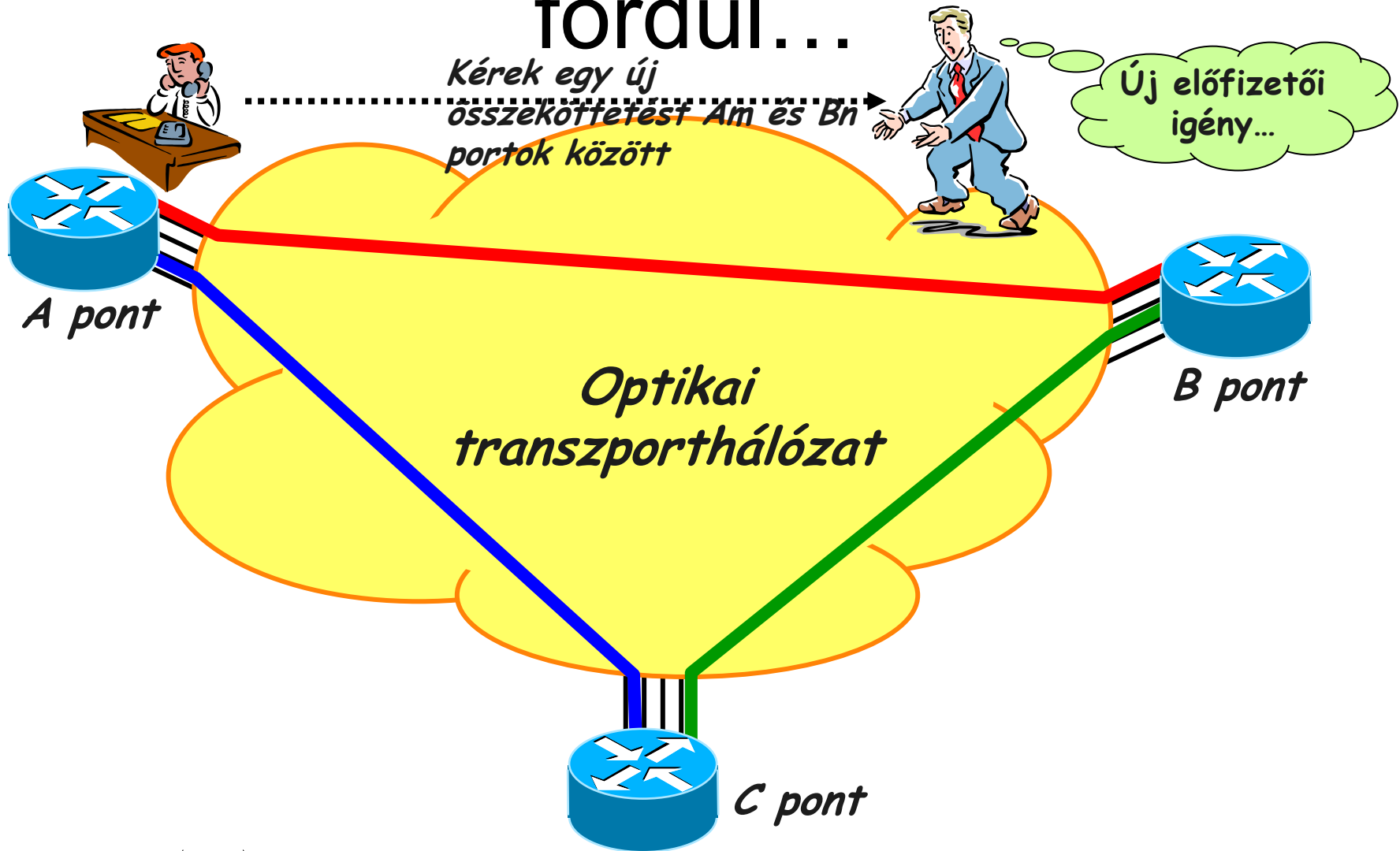
C pont



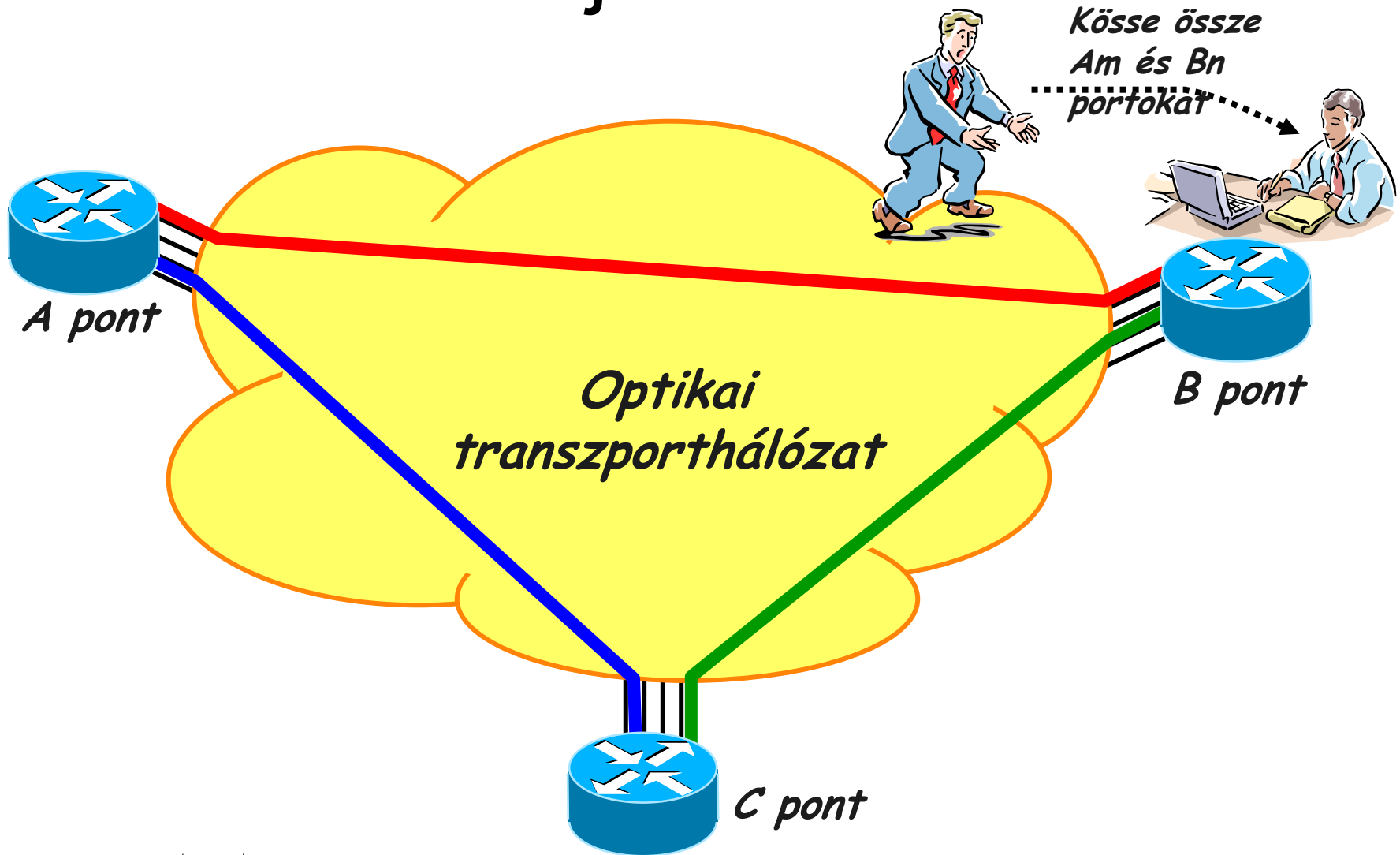
...a felhasználó analizálja a hálózati adatait...



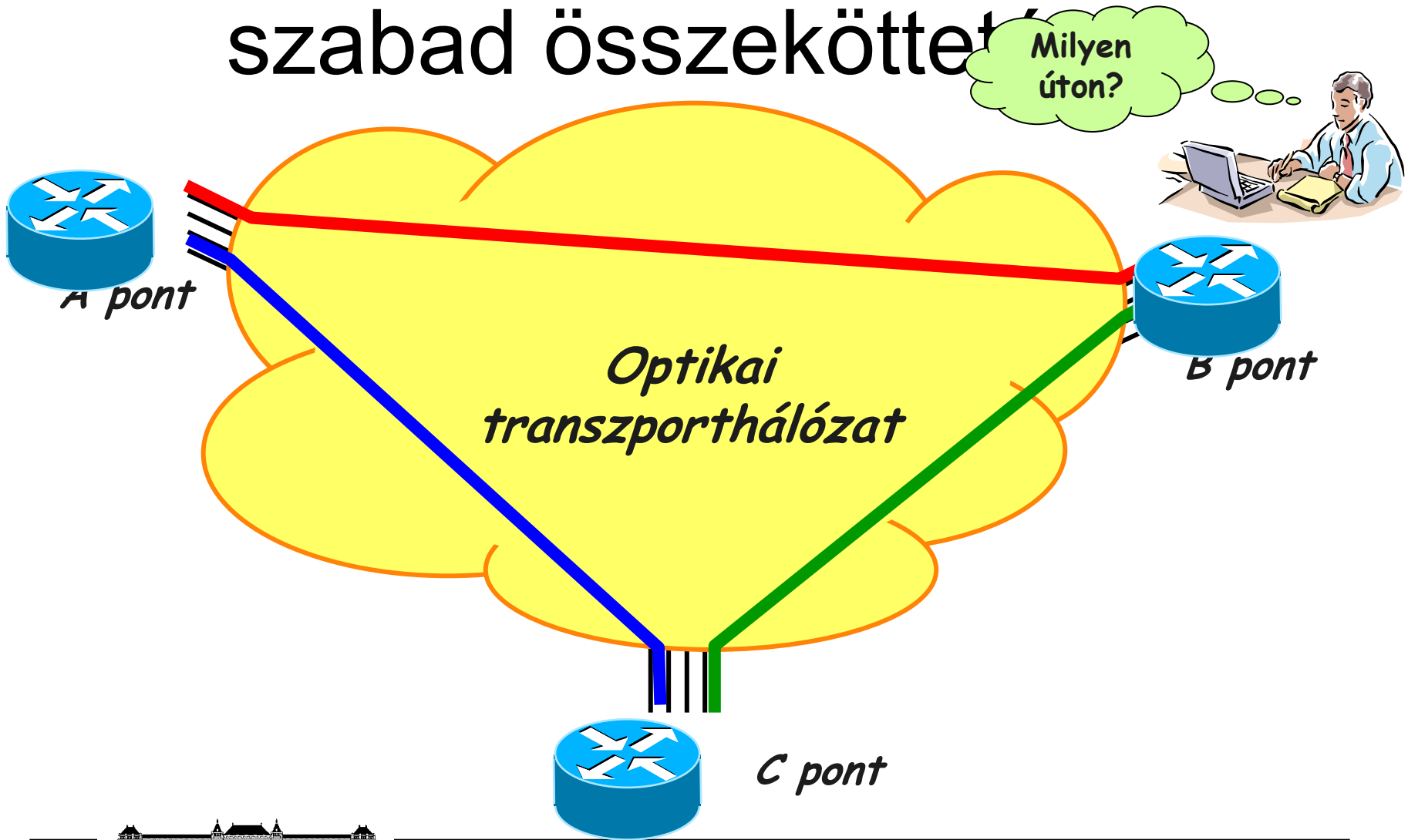
...a hálózati szolgáltatóhoz fordul...



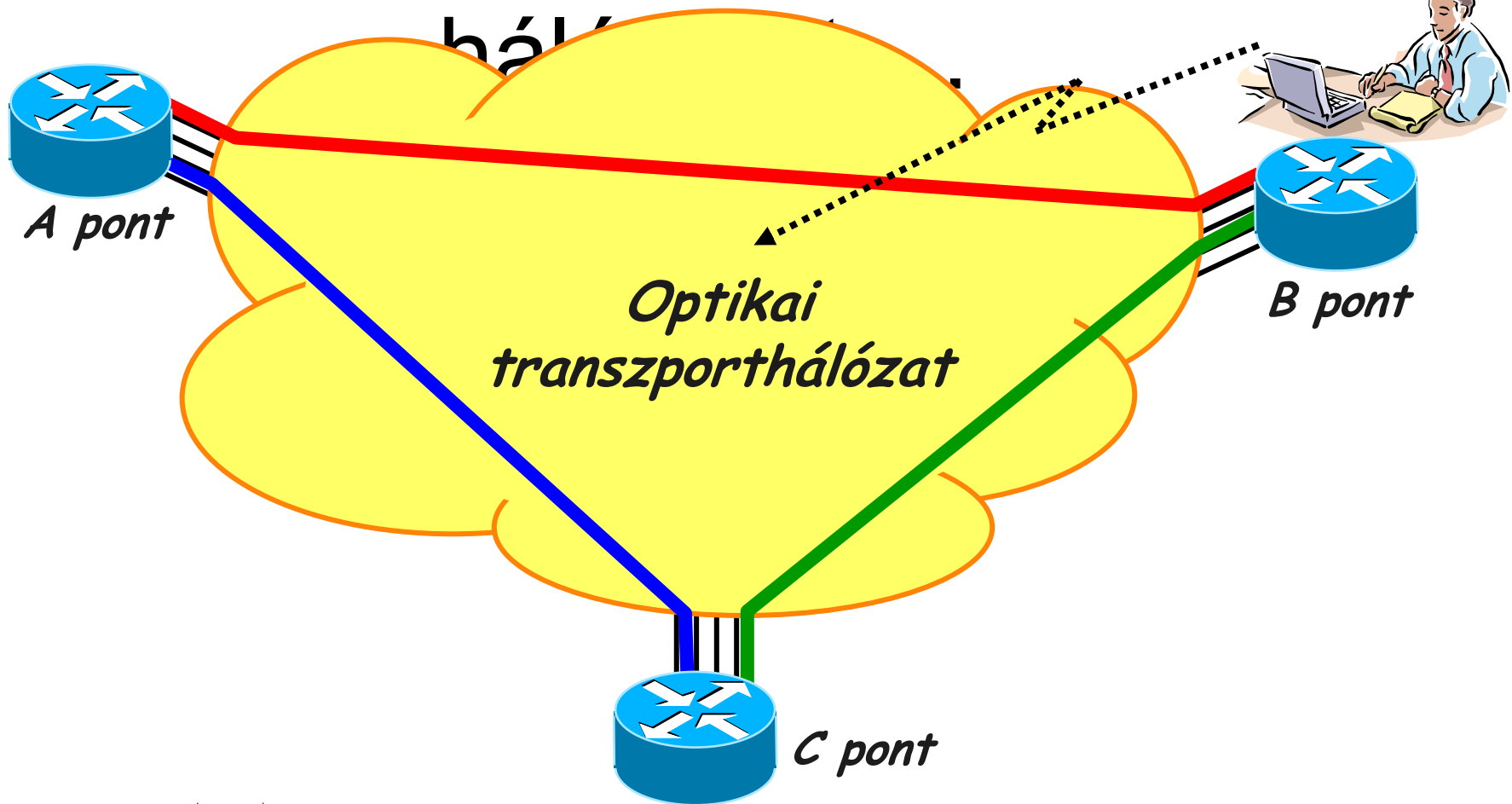
...aki kiadja a feladatot...



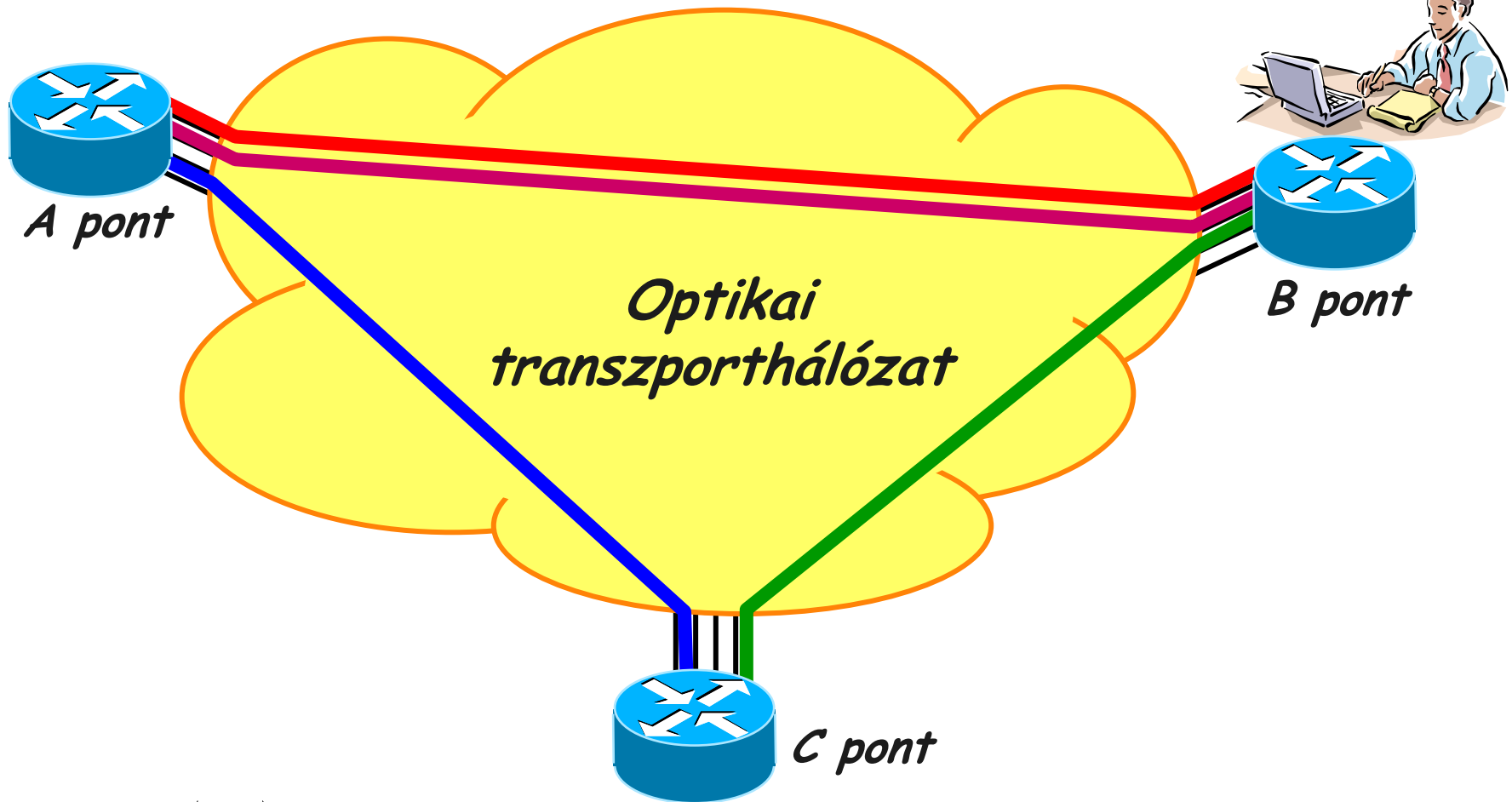
... az üzemeltető keres egy
szabad összeköttetést



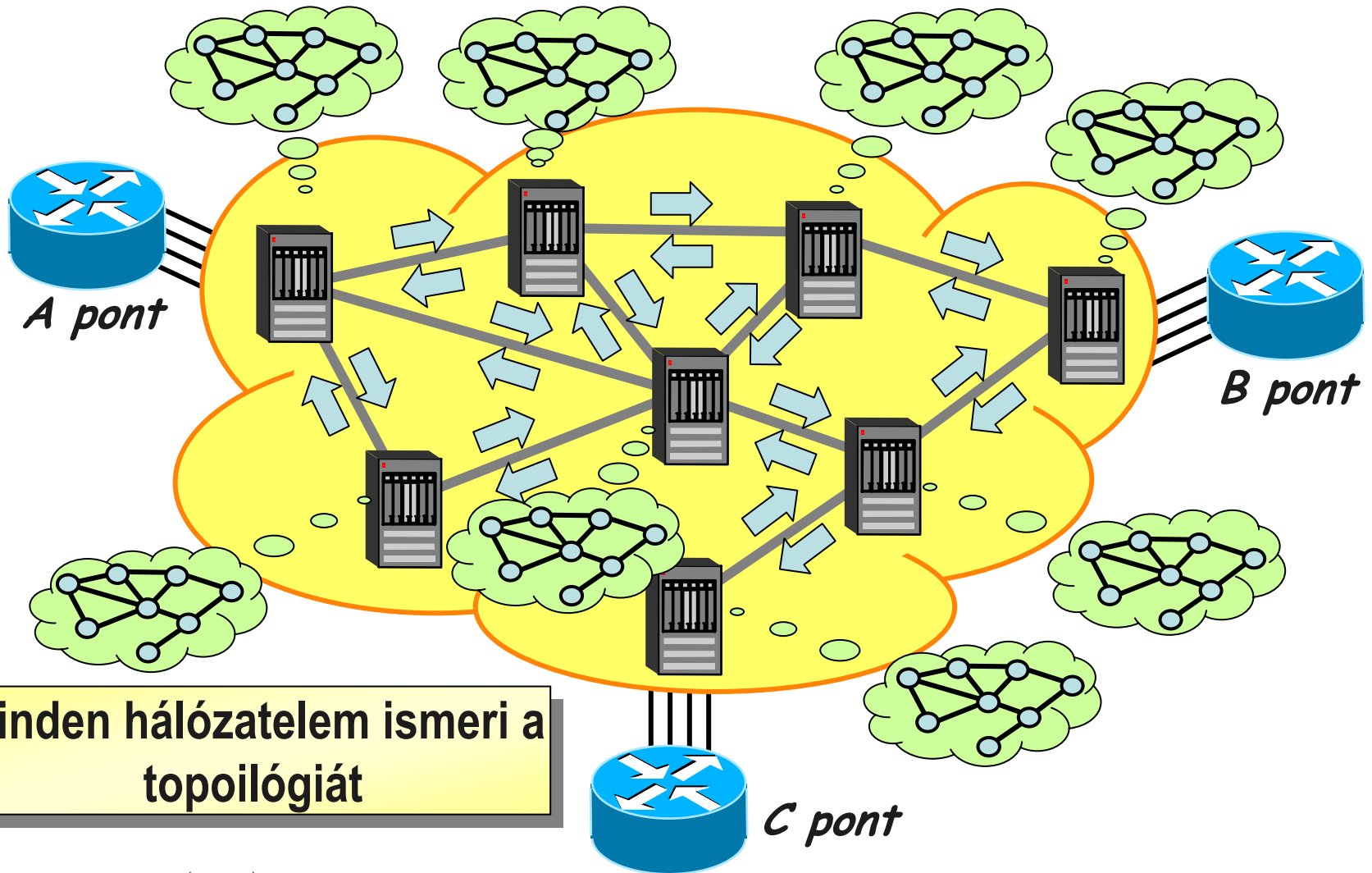
...ha megtalált annak
megfelelően konfigurálja a



...és az új összeköttetés rendelkezésre áll!



ASON technológiával...



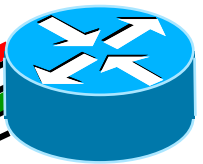
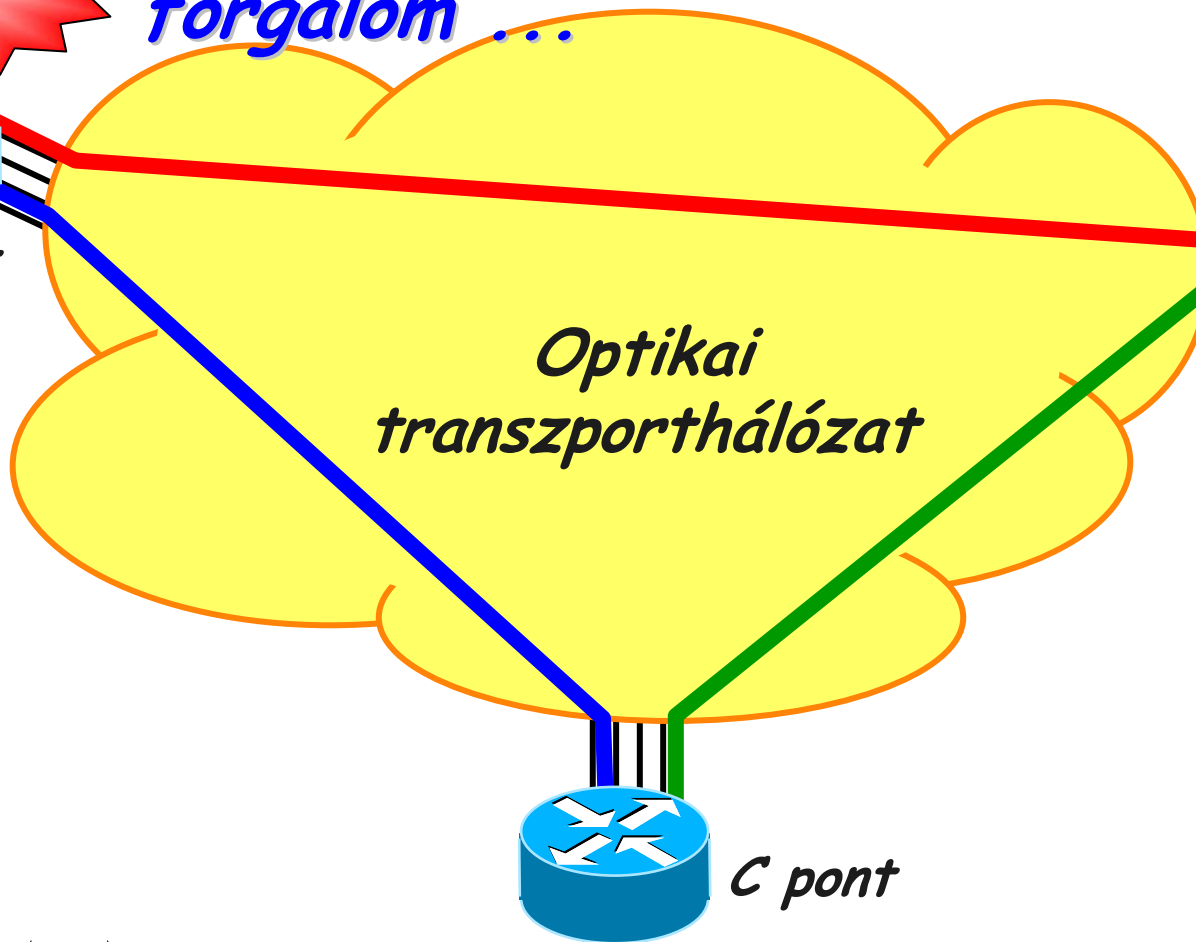
...ha a forgalom nő...

*Túl nagy
forgalom B
felé!*

*Növekvő
forgalom ...*



A pont



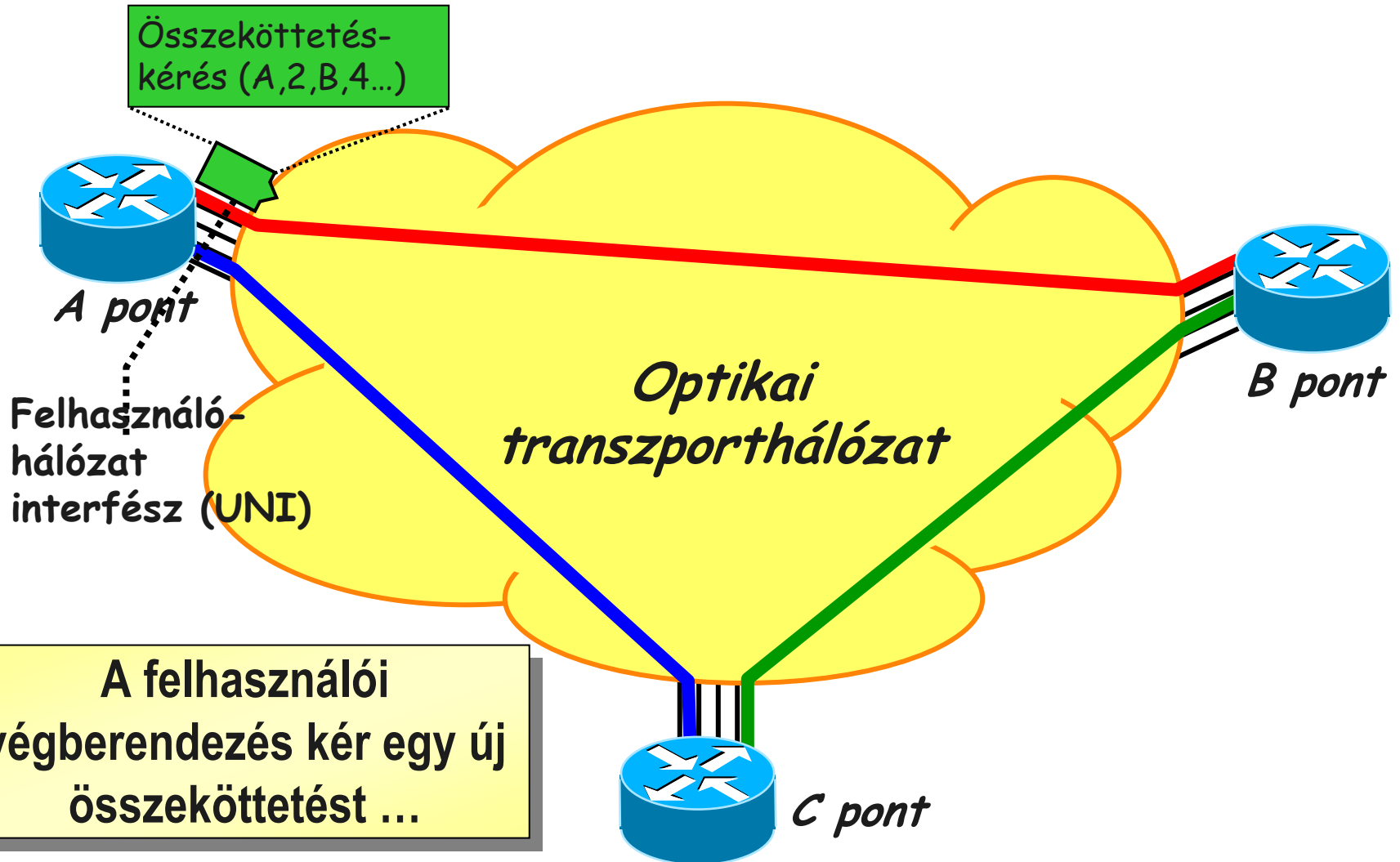
B pont



C pont

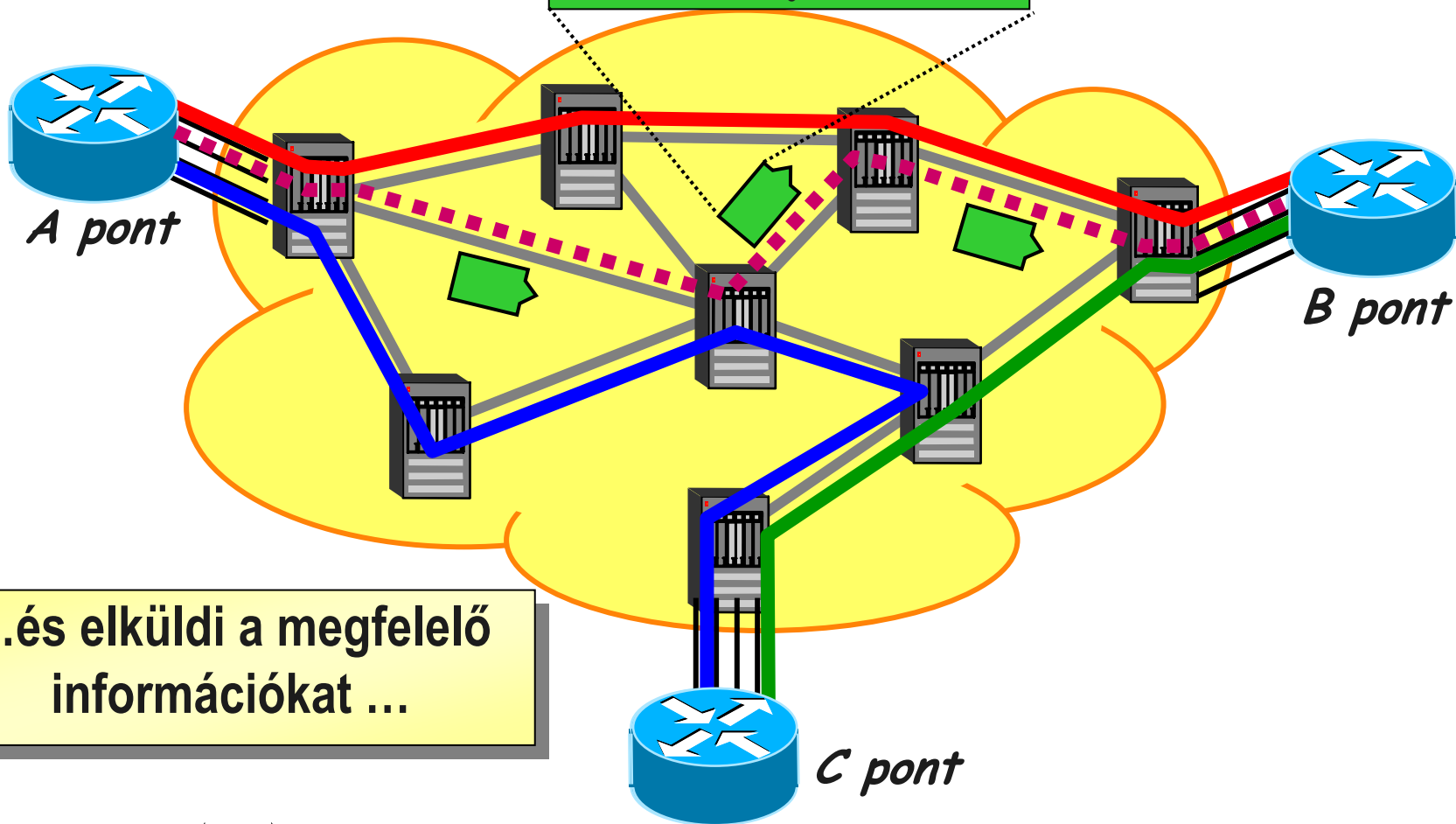


... összeköttetés kérés (“hívás”) ...



... információk, jelzések továbbítása ...

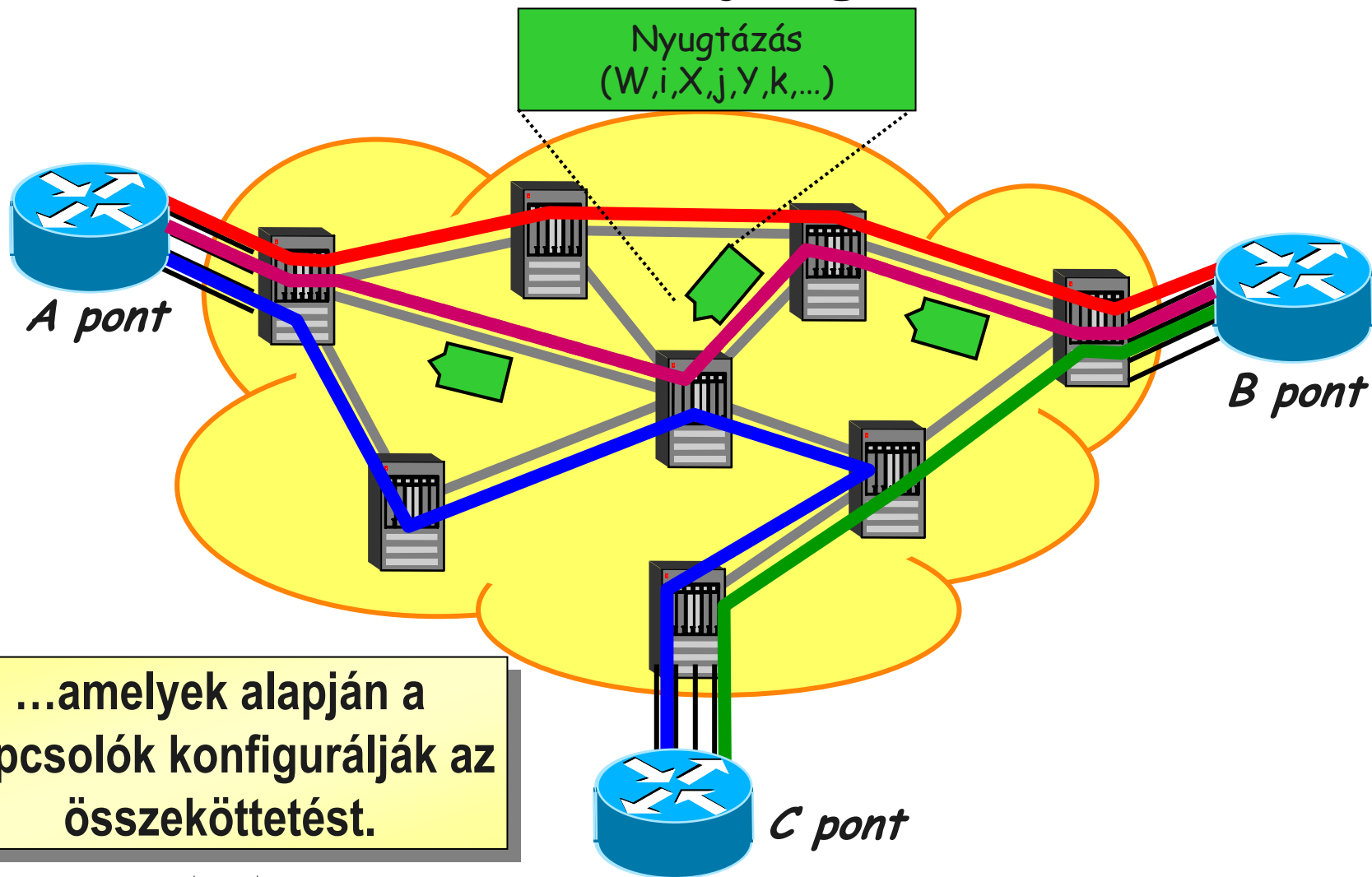
Összeköttetés kérés
(W,i,X,j,Y,k,...)



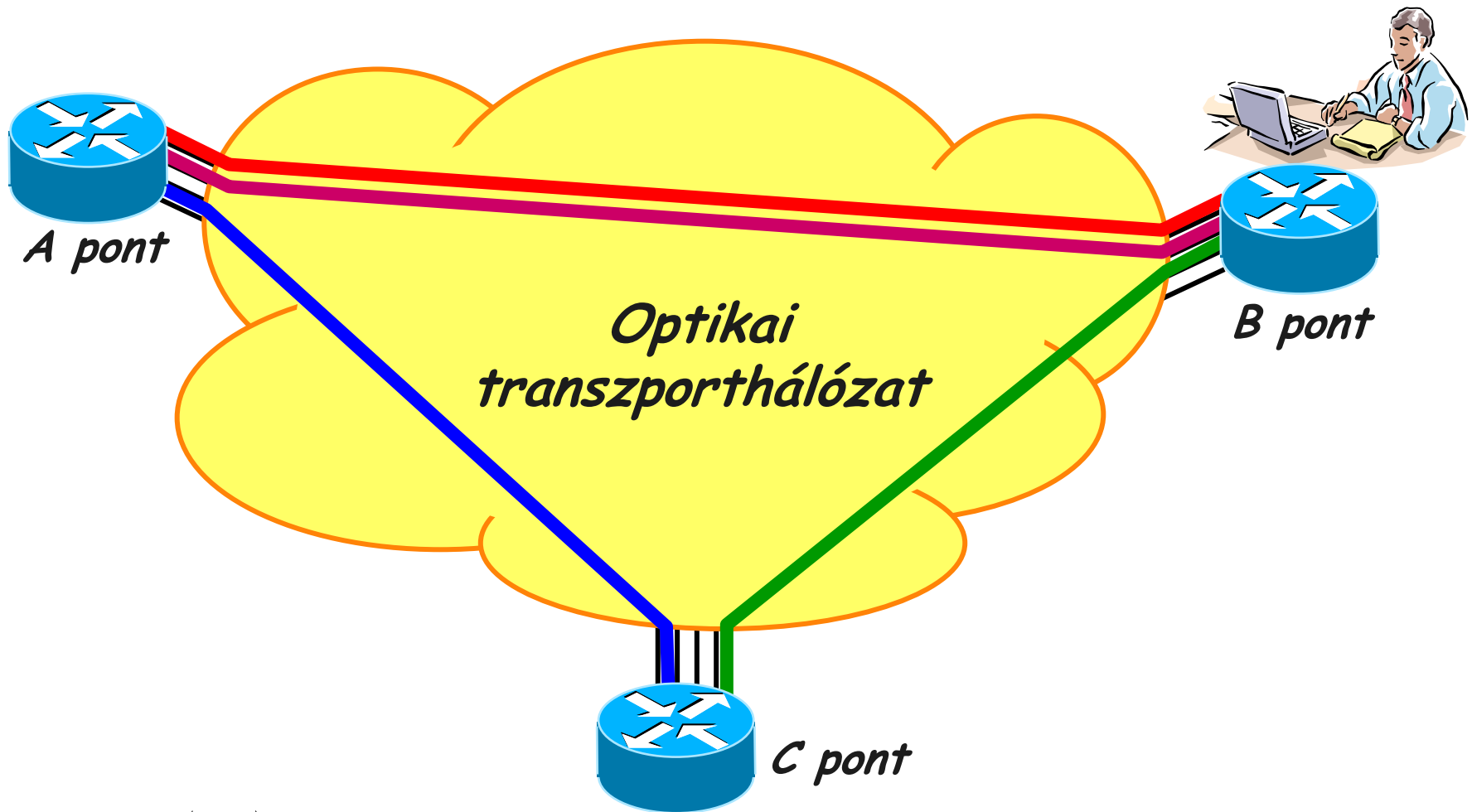
...és elküldi a megfelelő
információkat ...



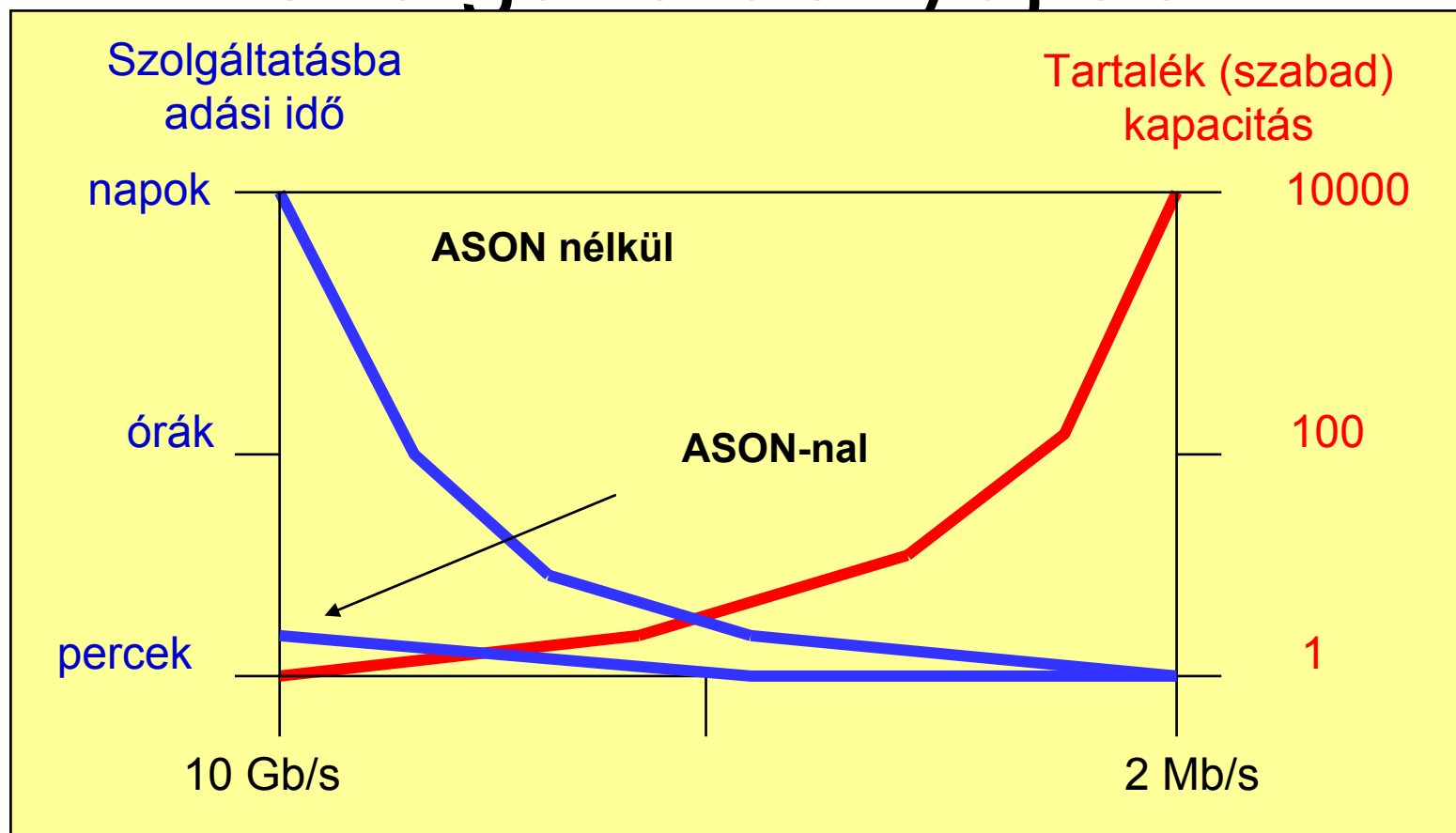
... a kérés nyugtázva ...



... az új összeköttetés létrehozva!



Az ASON előnyei: gyors szolgáltatásnyújtás



Gyors szolgáltatásnyújtás

- Szolgáltatók:
 - Optikai csatorna alapú összeköttetések megnyitása és lezárása rövid idő alatt
 - Dinamikusan változó forgalom kiszolgálása kevés tartalékkal az optimális konfigurálásra alapozottan
- Felhasználók:
 - Gyors szolgáltatás-hozzáférés lehetősége
 - Nagy sáv szélesség igény szerint
 - Rövid tartás idejű nagy kapacitású összeköttetések (adatátvitel, back-up - bankok, biztosítók, nagy nemzetközi cégek)

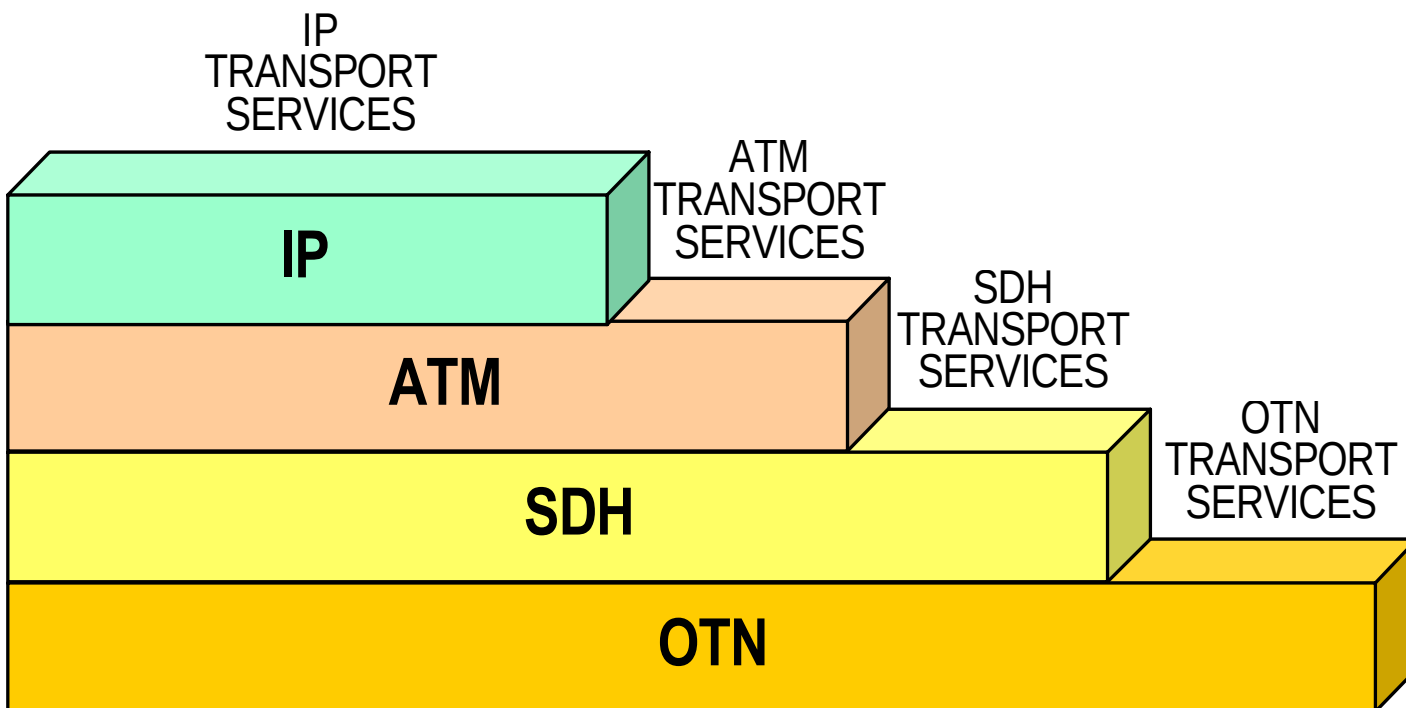


Általános ASON követelmények

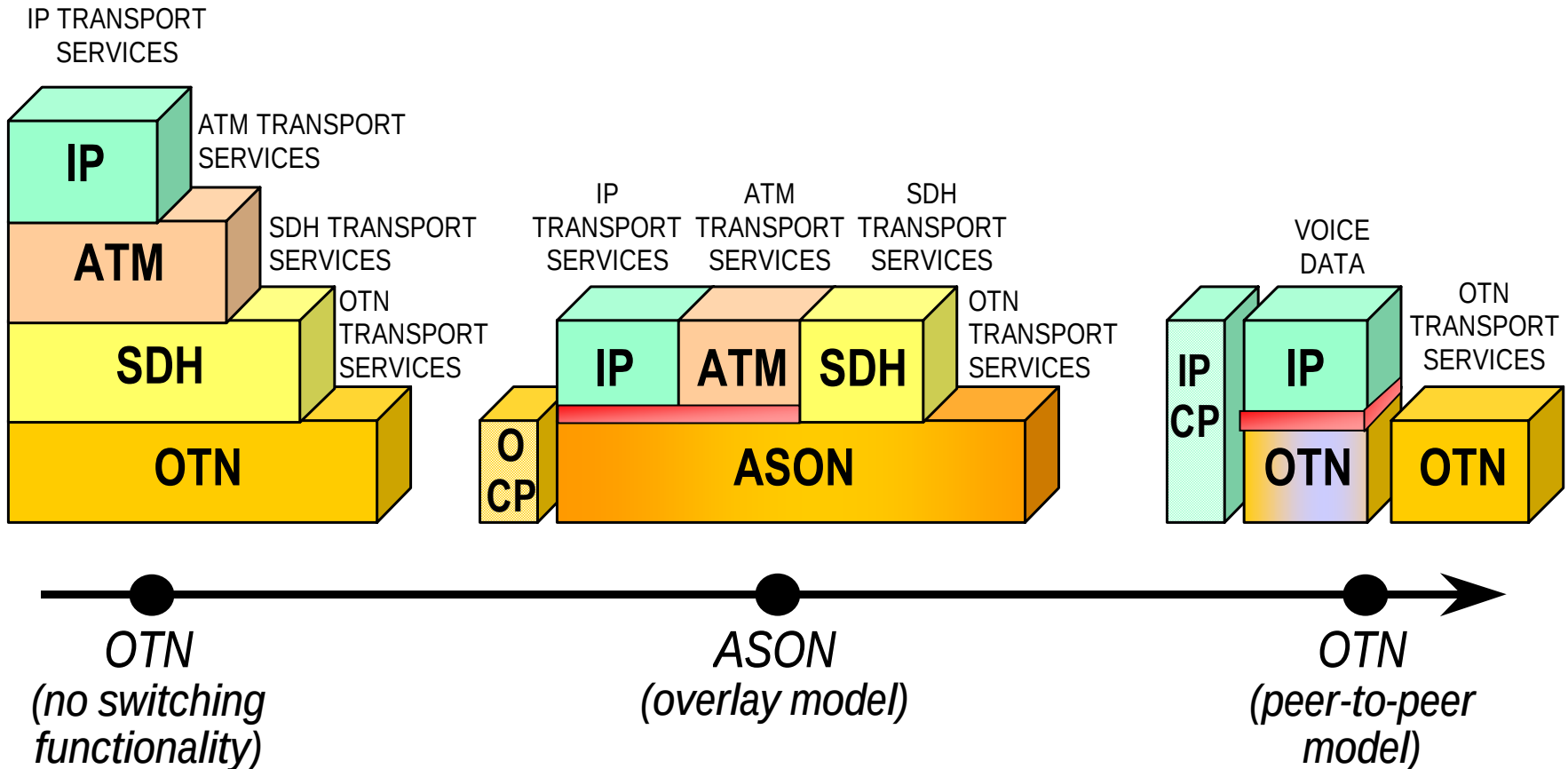
- **Optikai csatornák dinamikus és gyors felépítése az optikai hálózaton**
- **Optikai csatorna alapú szolgáltatások különböző minőséggel**
- **Kliensfüggetlen megoldások**
- **Automatikus mechanizmusok a szolgáltatási szint (SLA) biztosítására**



Aktuális hálózati architektúra



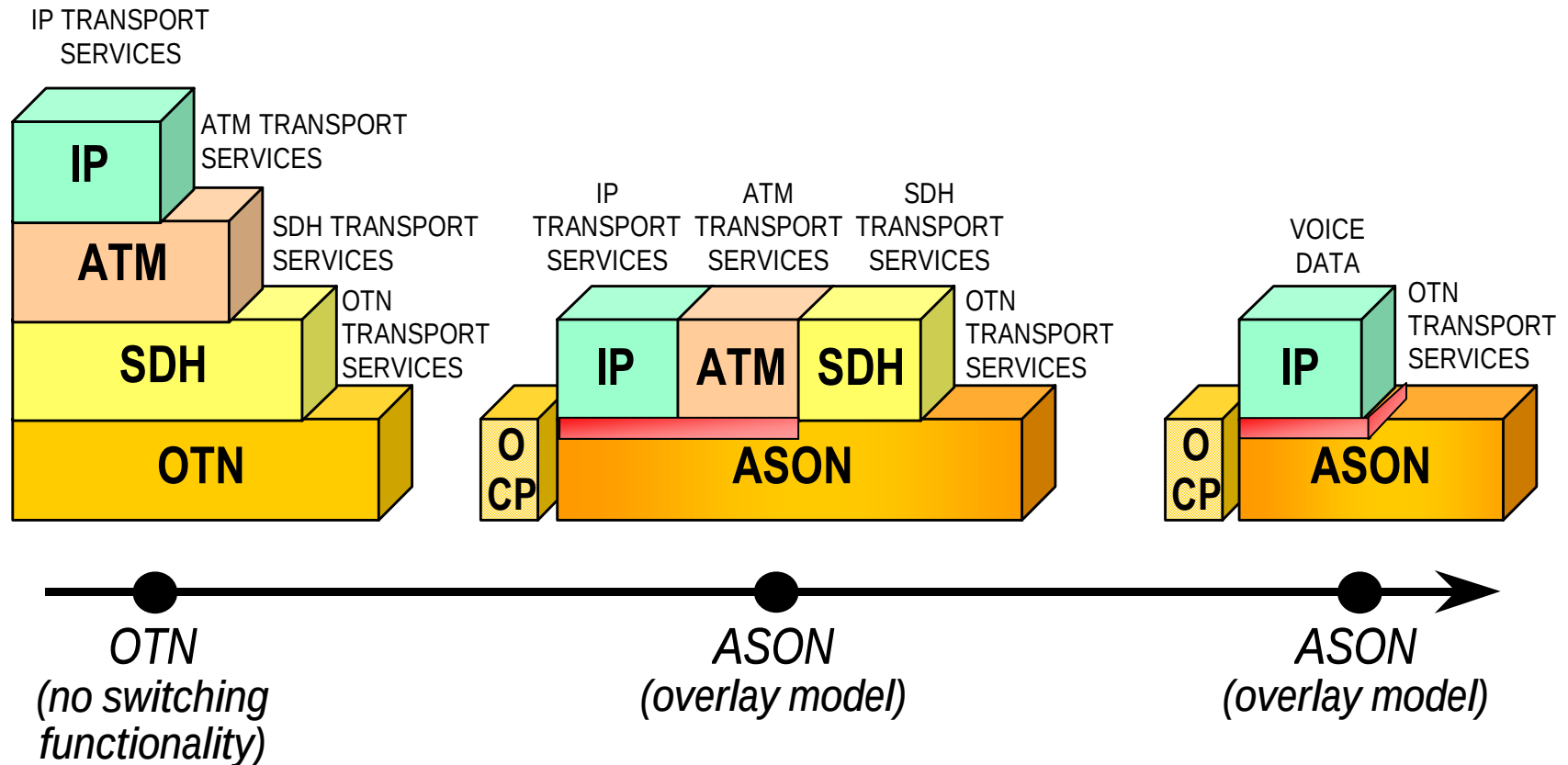
Az optikai kapcsolási funkció egy lehetséges bevezetési folyamata



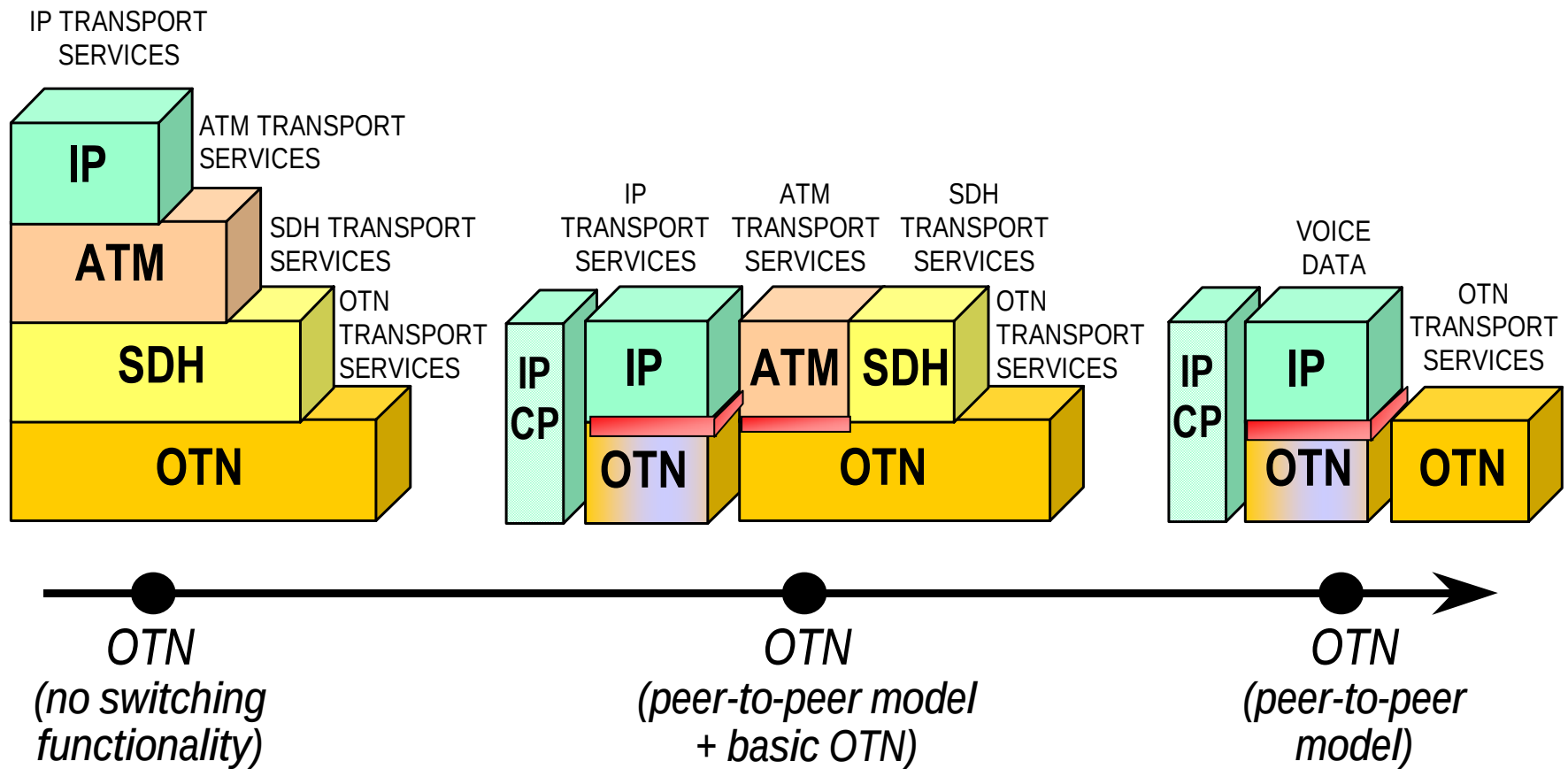
Note: simplified architectural schemes shows only the control plane (if any) that controls the optical resources



Overlay architektúra lehetséges kifejlődése



Peer-to-peer architektúra lehetséges kifejlődése



A menedzsment rendszer új szerepei a hálózat működtetésében

- IP MPLS TE – mérés alapú konfigurálás és tervezés
- GMPLS-alapú optikai réteg – gyors OCh szolgáltatás

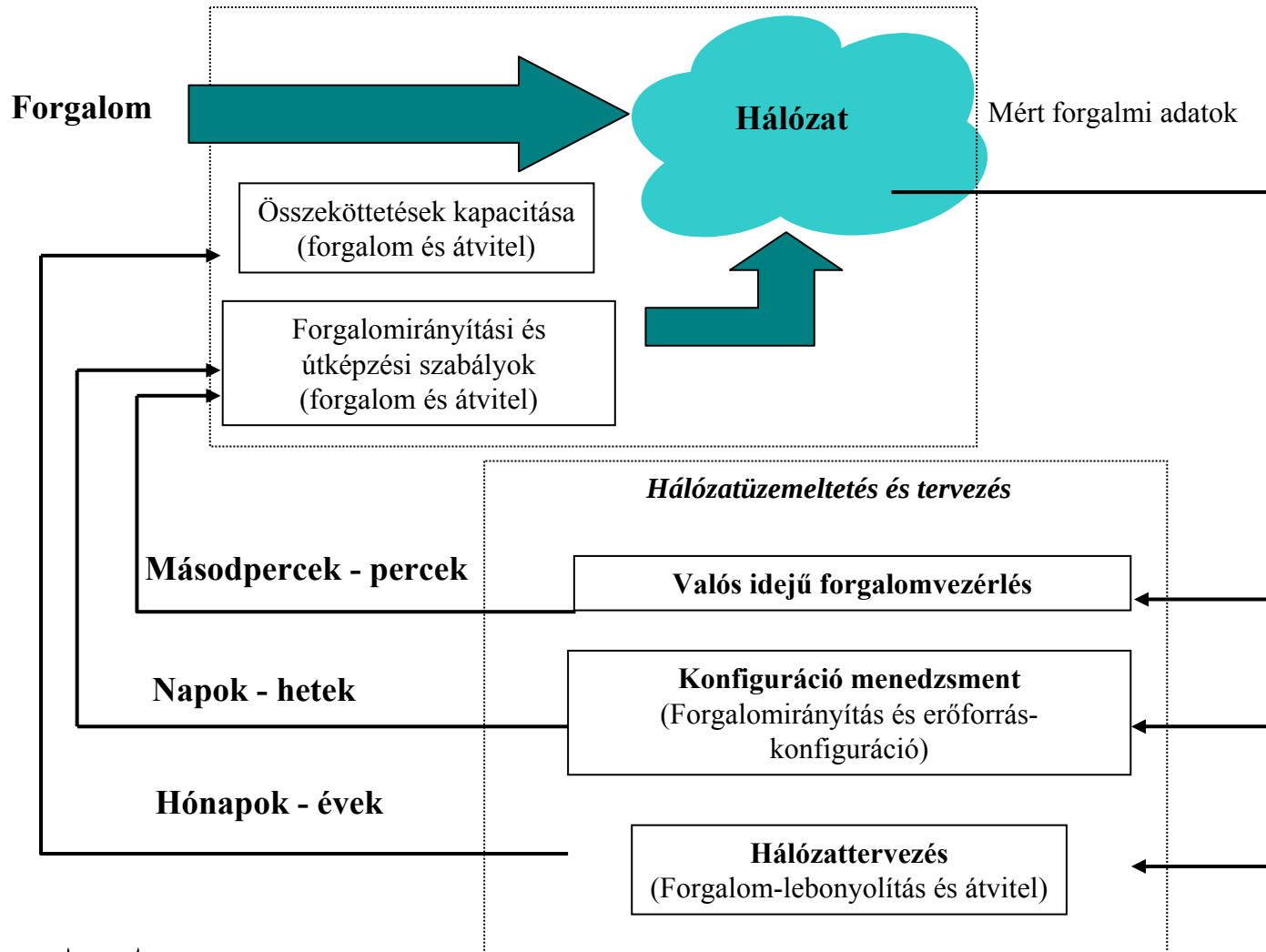


Mérés alapú tervezés és konfigurálás

- Dinamikusan változó piaci környezetben
 - rugalmas reagálóképesség
 - szolgáltatási és forgalmi prognózis - kapacitástervezés
 - bizonytalan prognózis: flexibilitás vagy túlméretezés
- Domináns IP kliens - forgalommodellezési nehézségek
 - analitikus modellek mellett mérési adatok



Mérés alapú tervezés



Mérés alapú tervezés

- Mérésekre alapozott hálózattervezés
 - Meglévő hálózati erőforrások konfigurálása
 - Rövidtávú beavatkozás
 - Kihasználtság növelése
 - Torlódások elkerülése (QoS)
 - Forgalmi prognózisok előállítása
 - Forgalmi mátrix előállítás
 - Hálózatfejlesztési tervek (amikor a konfigurálás már nem elég bővíteni kell az erőforrásokat)



Valós idejű forgalomvezérlés

- Hálózati állapot folyamatos, részletes figyelése
- Szükség esetén korlátozó beavatkozások + konfiguráció-módosítás kezdeményezése
- Egyes technológiák és hálózatok elosztott automatikus forgalomvezérlést alkalmaznak
- Gyakorlatiasabb eset: szezonális forgalmi jellemzőkre alapozott hatékonyságjavítás (analógia PSTN DNHR)



Konfigurálás

- A linkek megfigyelése egy adott időszakban
- A mérési eredmények minősítése
- Beavatkozás
 - Forgalomirányító táblák megváltoztatása
 - Kapacitás-átrendezés (technológiai rétegen belül)
 - Kapacitás-átrendezés, új kapacitások bevonása (kliens-szerver együttesen)
 - Hálózatfejlesztés kezdeményezése



Hálózattervezés, hálózatfejlesztés

- A meglévő erőforrásokkal a felmerülő problémák nem oldhatók meg
- Erőforrás-bővítés szükséges
 - Forgalmi prognózis
 - Kapacitástervezés,
 - Hálózatbővítés

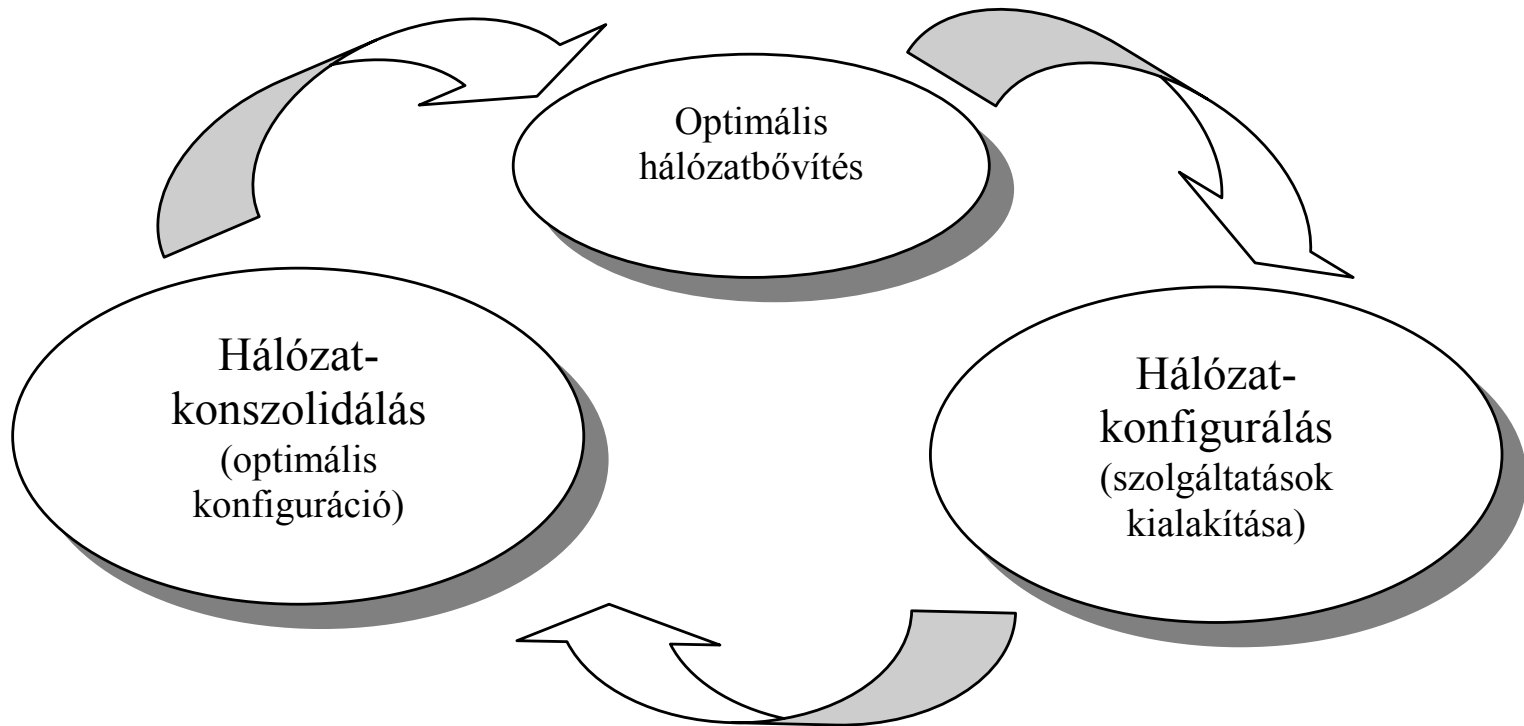


Szemi-permanens hálózatok

- Pont-pont kapacitásigények véletlen sorrendben, hosszú ($\sim$ végtelen) tartásidővel
- Kevéssé dinamikus hálózat (ritkán szűnnek meg kapcsolatok)
- A hálózati kép egy lehetséges sorrendi realizáció következménye
- A szolgáltatási stratégia a rendelkezésre álló erőforrásoktól és a prognózis jóságától függ



Hálózatfejlesztési lépések



Beruházás, optimális hálózatbővítés

- Beruházás - új hálózati erőforrások létrehozása, ami tipikusan az optimális hálózatbővítés meghatározása a konszolidált hálózati képből kiindulva.



Szolgáltatások kialakítása

- Szolgáltatások kialakítása (hálózatkonfigurálás a meglévő erőforrások felett), melynek során tipikusan szub-optimális döntések születnek az aktuális hálózati állapot és egy-egy aktuális szolgáltatási igény ismeretében. (A döntés szub-optimális jellegének érzékeltetésére két egyszerű példa a döntési stratégiára:
 - Ha egy új szolgáltatás kialakítása minimális erőforrás-felhasználás mellett történik, akkor az a tervezési bizonytalanságokból adódóan szűk keresztmetszetek kialakulásához vezethet a hálózatban.
 - Ha egy új szolgáltatás kialakítása szűk keresztmetszetek kialakítását elkerülve történik, akkor az a minimálisan szükséges több erőforrás felhasználáshoz vezet.



Egy alapvető ellentmondás

- A hálózat egészét hosszabb időtartamra tekintve egyik döntés sem optimális, ugyanakkor az ellentmondás feloldhatatlan, mert a konfliktus a dinamikusan felmerülő igényekből következik.



Hálózatkonszolidálás

- A hálózatkonszolidálás szolgálhat a probléma megoldására. Ekkor a konfigurálás (átrendezés) célja a hosszabb távon optimális hálózati szerkezet kialakítása az aktuális hálózati állapot (erőforrások, tartósan fennálló igények) ismeretében. Egy ilyen hálózatkonszolidálás, mivel tipikusan erőforrásokat szabadíthat fel, valamint ésszerűbb konfigurációs megoldásokhoz vezethet és megalapozhatja az optimális hálózatbővítést.
 - taktikai tervezés(meglévő erőforrások optimális felhasználása)
 - mérés alapú tervezési koncepció (forgalomkoncentrációs hálózati rétegekben mérés alapú, transzport hálózati rétegekben a meglévő erőforrások kitöltöttségére alapozottan)
 - hálózatkonfigurálás támogatása (optimális erőforrás-allokálás meglévő hálózati szerkezet felett)



Optikai hálózatok

- Topológiák
 - Tagolt, többnyire hierarchikus (gyűrű, szövevény)
 - Gyűrűk – a forgalom összegyűjtésére (jó védelmi képességek, alacsony kábelezési költség)
 - Szövevények – gyűrűk összekapcsolása, jó összefüggőség, rugalmas bővíthetőség
- Védelem
 - Dedikált és osztott védelem, helyreállítás
 - Szakasz- és útalapú
 - Pont-pont, gyűrűs és szövevényes
- Átviteli rendszerek: jelentős fejlődés, de nem tisztán optikai hálózat



Optikai hálózatok

- Áramkörkapcsolás (optikai csatorna kapcsolás) alapú megoldások (GMPLS)
 - ASON (nagy dinamikájú OCh kliens?)
 - OBS
- Optikai csomagkapcsolás
 - OPS
 - technikai korlátok (3R, tárolás, processzálás), de intenzív fejlesztések
- IP-optika: IP/MPLS – (OTN és) ng WDM GMPLS



Összefoglalás

- **Az optikai hálózatoknak kulcsszerepük van az IP hálózatok és szolgáltatások fejlesztésében**
 - transzport és kapcsolás (gyors szolgáltatások, védelem)
- **A dolgok jelenlegi állása szerint a végső cél eléréséhez vetető út több szempontból bizonytalan**
 - Nemcsak IP kliens (GbE, SDH)
 - Dinamikus szolgáltatás mikorra?
 - Az első lépés gyors optikai csatorna szolgáltatás elosztott vezérlés mellett
 - Hálózatszervezési kérdések (policy, biztonság, együttműködés)
 - Hálózattervezési kérések (TE, grooming, konszolidáció, mérés alapú tervezés)
- **Lassú változások**
 - A technológiában és a szerkezetben
- **Nagy beruházásigény**

