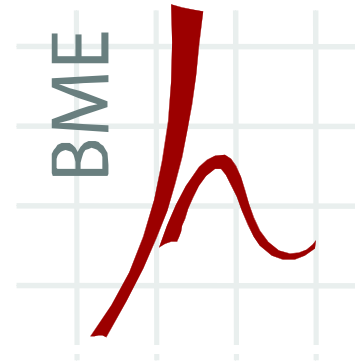


*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamosmérnöki szak, mesterképzés - szakirányok*



VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

## 3. Hálózatvédelem, hibamenedzsment, rendelkezésreállítás

*Jakab Tivadar*

*Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék*

[jakab@hit.bme.hu](mailto:jakab@hit.bme.hu)

*I.B.123*

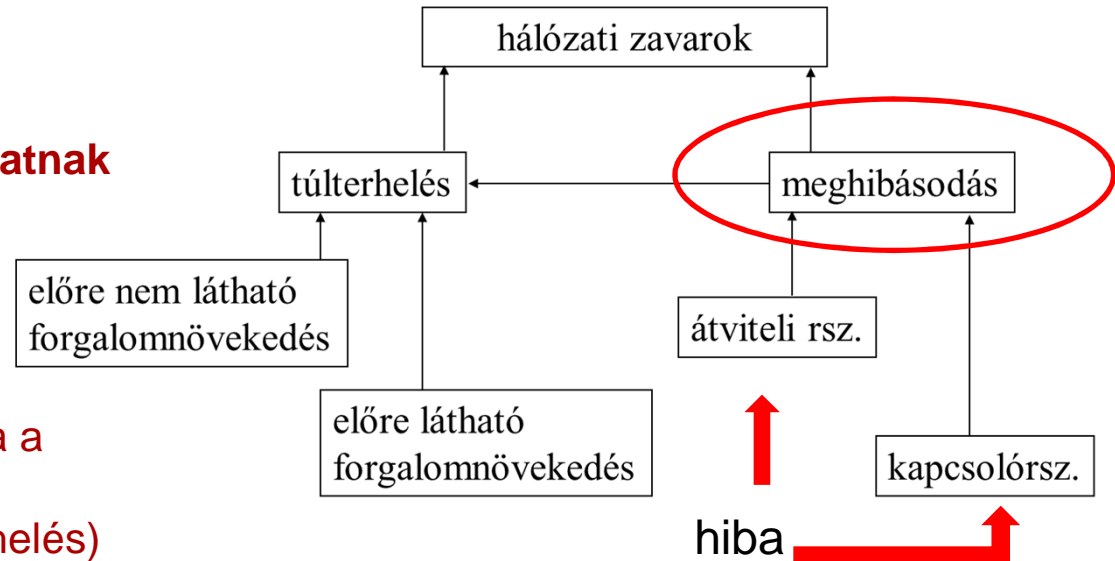
# Tartalom

---

- Hálózatvédelem: architekturális megoldások a véletlen hálózati hibák (berendezés, részegység, kábel hiba) hatásának csökkentésére, kiküszöbölésére
- Hibamenedzsment: a hálózatmenedzsment funkciók és folyamatok azon része, amelyek a hálózati hibák azonosítására, behatárolására, javítására, valamint a hibamentes állapot visszaállítására irányulnak
- Rendelkezésreállítás: a javított rendszerek (ilyenek a hálózatok, a hálózati szolgáltatások) üzemképes állapotban töltött idejének jellemzése statisztikus módszerek alapján

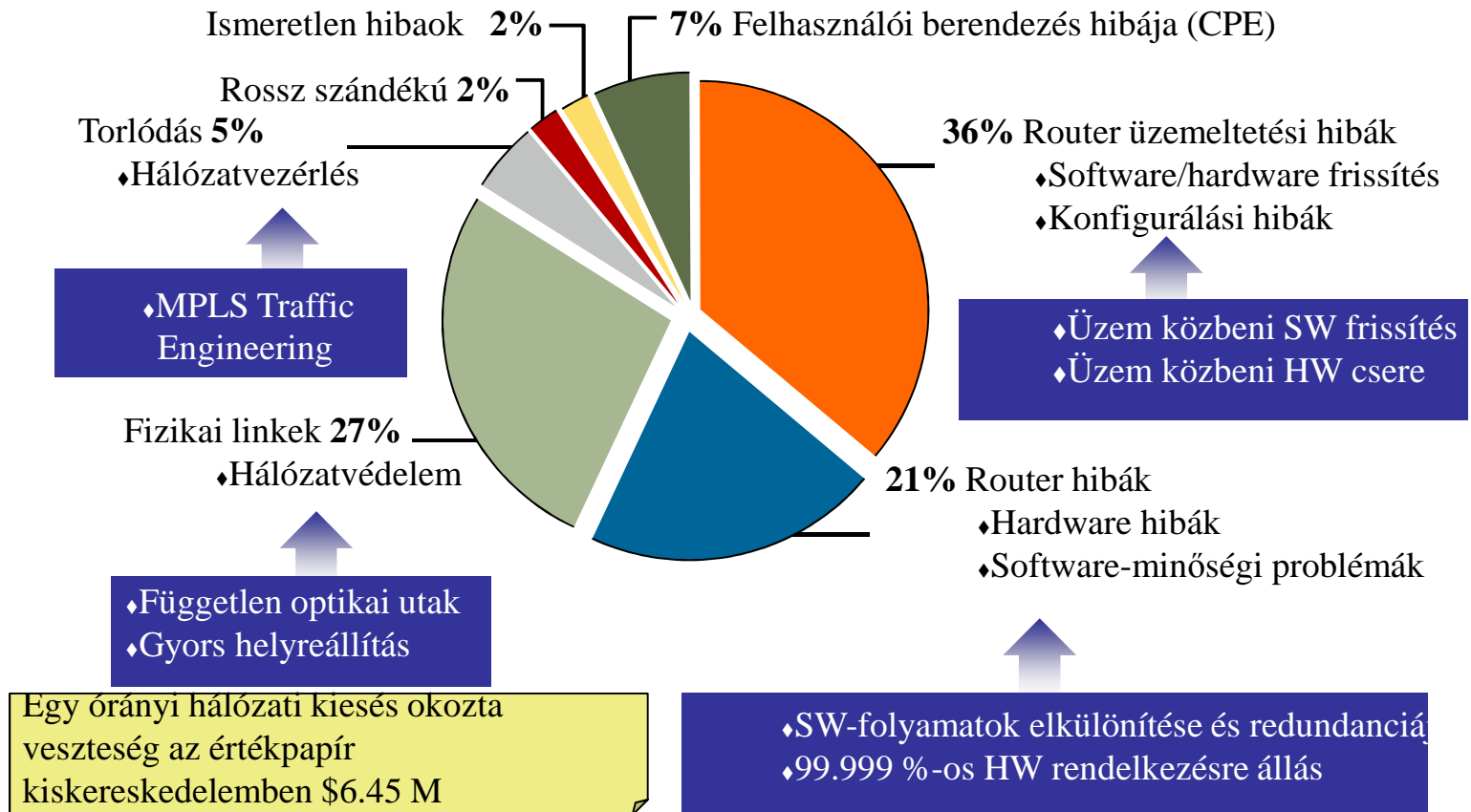
# Motivációk

- a valós hálózatokat alkotó **hálózatelemek** véges valószínűséggel **meghibásodhatnak**
- egy hiba hatására **csökken** a hálózattal szemben támasztott igények kiszolgálását biztosító **erőforrások mennyisége**
- a szükséges erőforrások hiánya a **szolgáltatások minőségének romlásához** (pl. forgalmi túlterhelés) vagy időszakos **megszakadásához** vezethet



- egy hálózat forgalomlebonylító képességéhez szükséges **erőforrások méretezését** és konfigurálását alapesetben **hibamentes állapotot feltételezve**, a prognosztizált forgalom megkívánt minőségű kiszolgálása alapján **határozzák meg**
- **relatív túlterhelés**: változatlan forgalom, hibaokból időszakosan kevesebb erőforrás
- **minőségromlás**: áramkörkapcsolt esetben (PSTN) megnövekedett blokkolás, csomag alapú szolgáltatások esetén késleltetés, csomagvesztés
- a **hibák hatásának csökkentéséhez**, kiküszöböléséhez a hálózatba beépített **redundancia** szükséges

# Hibaok megoszlása az IP hálózatban



Forrás: University of Michigan

# 1. HÁLÓZATVÉDELEM

# Hálózatvédelem

---

- hibatűrő, öngyógyító hálózati megoldások alkalmazása
- a hálózatba beépített redundancia a véletlen hibák hatásának csökkentésére, kiküszöbölésére
- strukturális redundancia: a szükséges kapacitások hibatűrő elrendezése – pl. egy egységnyi kapacitású átviteli út helyett két fél kapacitású függetlenül meghibásodó út kialakítása
- kapacitásredundancia: többletkapacitások alkalmazása a véletlen hibák hatására kiesettek pótlására, lehet
  - dedikált: egy adott logikai vagy fizikai hálózatelemhez hozzárendelt
  - osztott: logikai vagy fizikai hálózatelemek egy csoportjához hozzárendelt

# Védelmi alapsémák

---

- különböző hálózati technológiai környezetben megvalósító, redundanciát biztosító funkcionális megoldások
- pl. berendezés-részegységek tartalékolása (pl. duplikált tápegység)
- pont-pont összekötetések vagy átviteli utak hibatűrését biztosító megoldások, pl.
  - többutas osztott elvezetés
  - 1+1 dedikált védelem
  - n:k osztott védelem

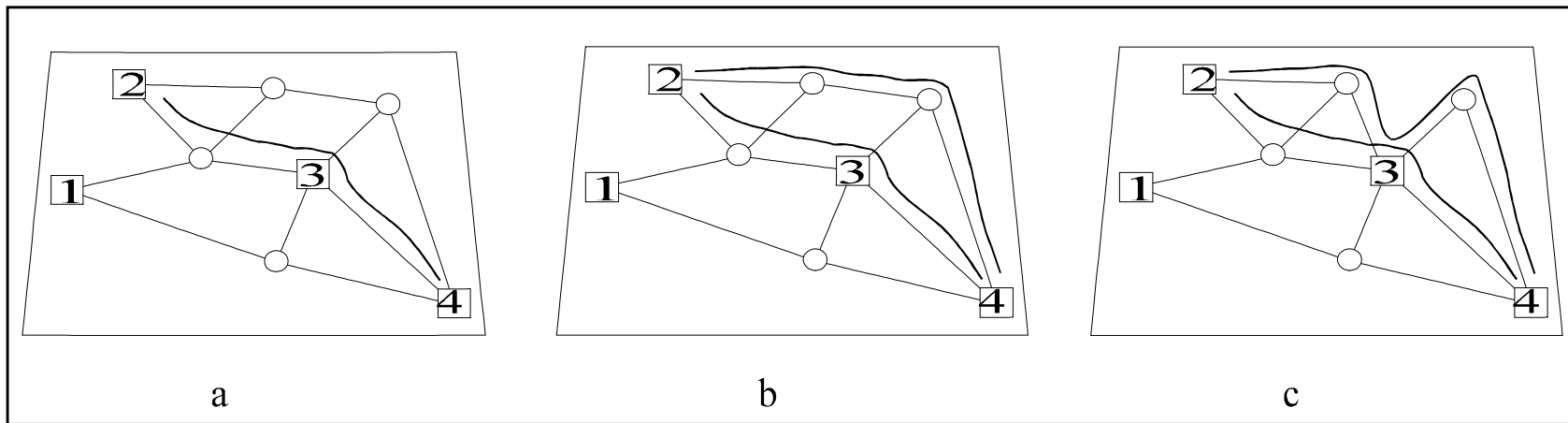
# Többutas elvezetés (2/1)

---

- összeköttetés- vagy pontfüggetlen utak
- strukturális redundancia, nincs kapacitástöbblet
- osztott elvezetés
- $n$  út esetén utanként a kapacitás  $1/n$ -ed része
- $n$  út mellett egy hibára  $(n-1)/n$  védettség
- a kapacitás egy része hiba esetén elvész
- $n$  növekedésével csökkenő hatékonyság
- topológiai követelmény
  - független nyomvonalak



# Többutas elvezetés (2/2)



a) egyutas elvezetés, egységnyi kapacitás

b) csomópont-független két út, utanként a kapacitás fele

c) összeköttetés-független két út, utanként a kapacitás fele

# 1+1 védelmi alapszerkezet

---

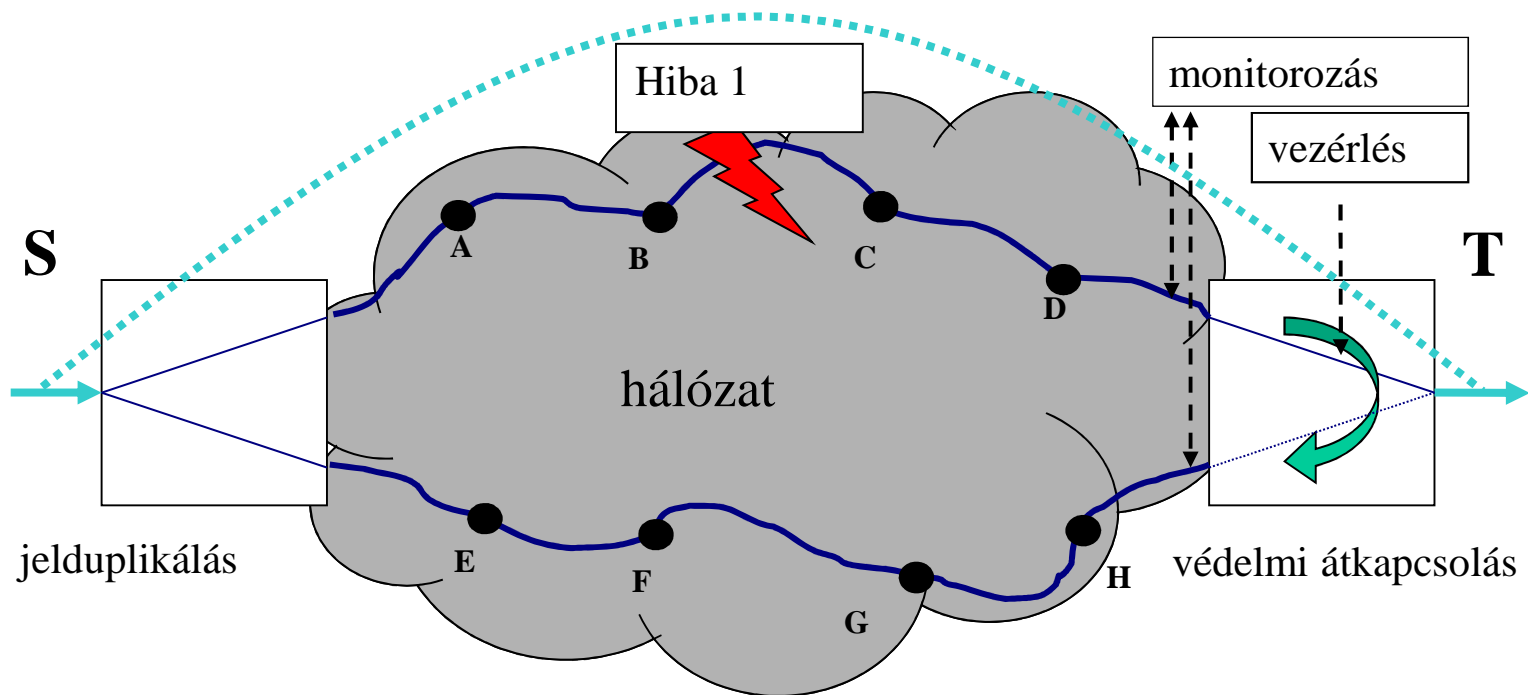
- két csomópont-független út
- azonos kapacitású átvitel
- duplikált adásirány
- vevő oldali átkapcsolás (lokális döntés, tipikusan nem visszatérő kapcsolat)
- egy hiba esetén teljes védelem (kivéve a végponti nem duplikált funkciók hibáit)

# *m:n* védelmi alapszerkezetek (2/1)

---

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

# 1+1 védelmi séma

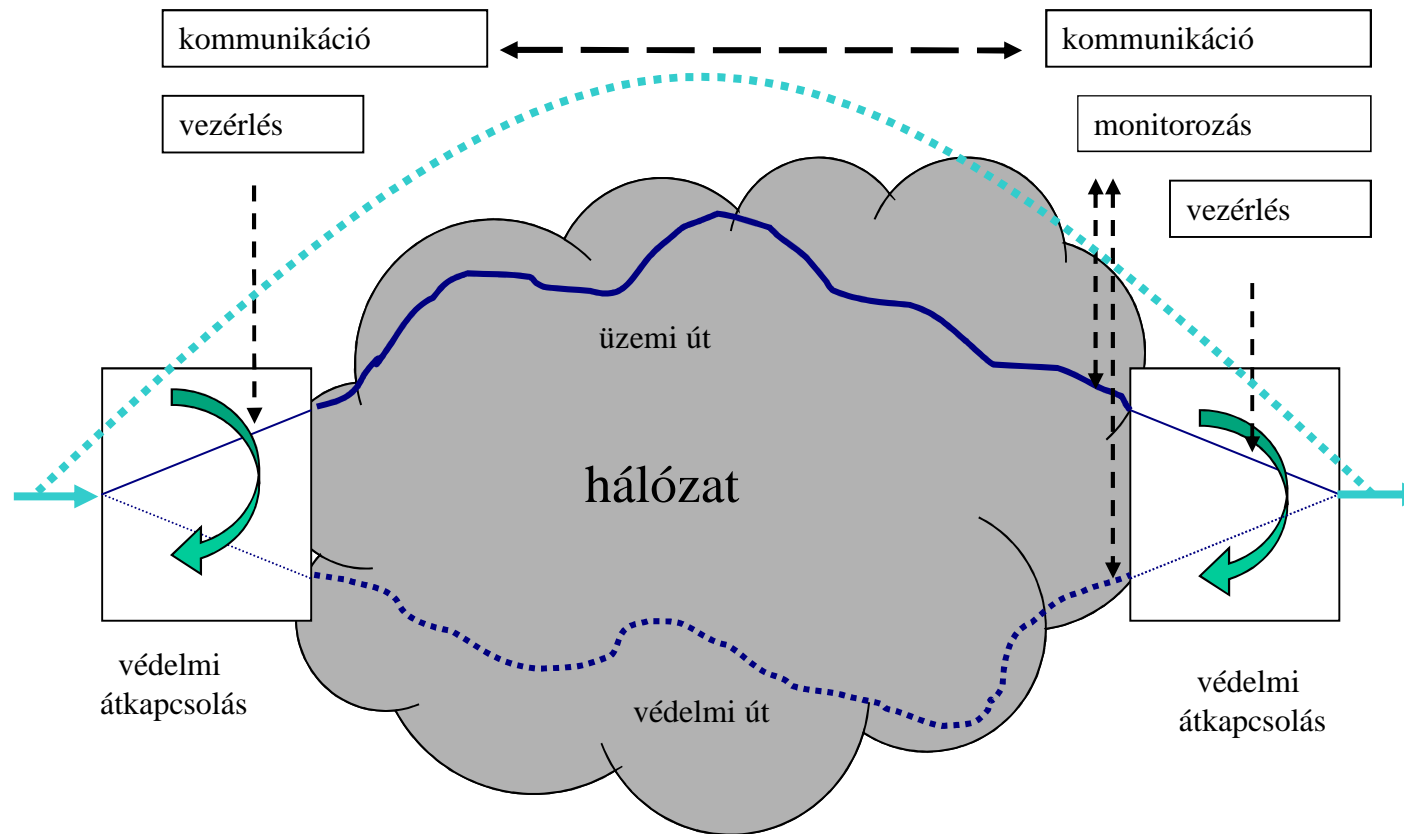


# *m:n* védelmi kapcsolás

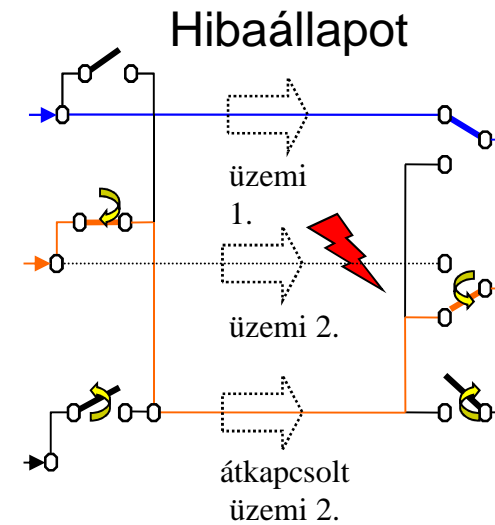
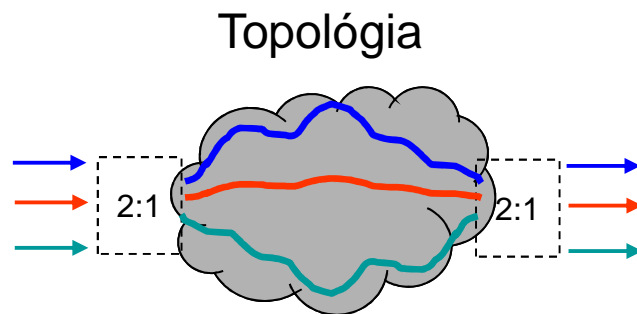
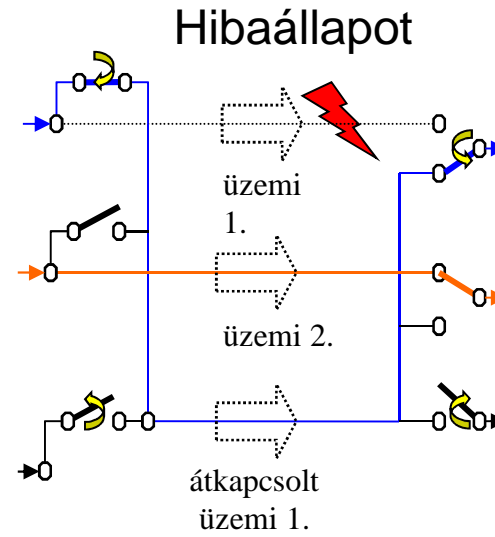
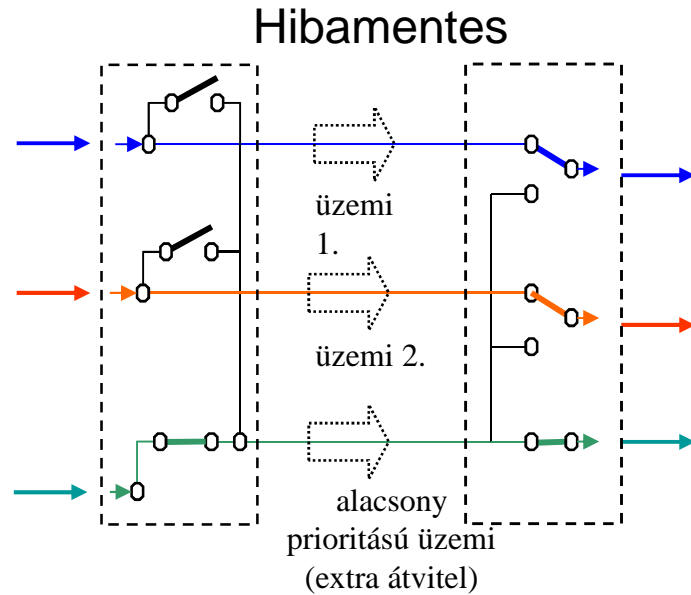
---

- *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

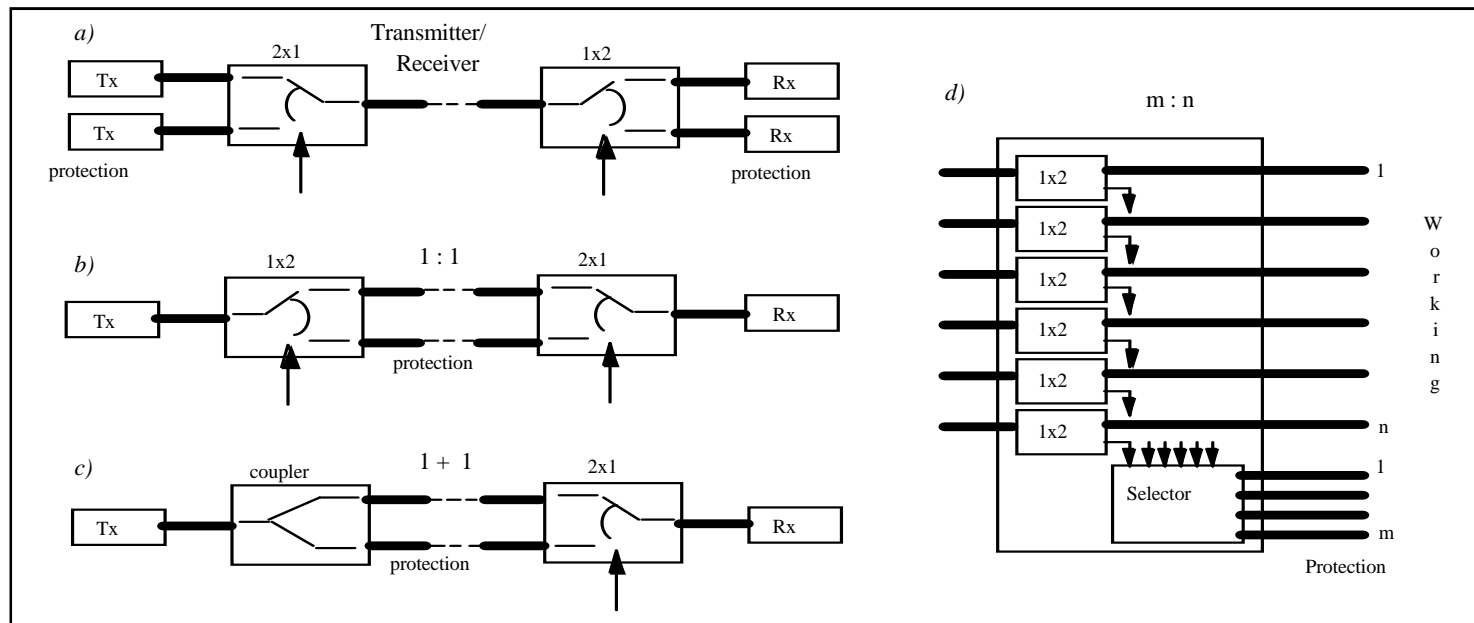


# 2:1 védelmi séma



# Pont-pont védelmi sémák jellemzői

- elérhető védelem: hány hiba, milyen hiba ellen véd
- működés bonyolultsága: egyik vagy mindkét végé kapcsolt
- reakcióidő: a megszakadt szolgáltatás visszaállításához szükséges idő
- hatékonyság: adott mértéké védelemhez szükséges többletkapacitás igény
- gazdaságosság (a többletkapacitás valamint a szükséges funkciók megvalósítási költsége adott technológia mellett)
- tipikus alkalmazások





# Védelmi alapszerkezetek összehasonlítása (3/2)

	<b>védelemi képesség (egy hiba esetén)</b>	<b>reaktív működés</b>	<b>hatékonyság</b>
kétutas elvezetés	50%	nincs	útszámmal csökken
1+1	100%	lokális döntés és átkapcsolás	egységnyi védett kapacitáshoz duplikált mennyiségű erőforrás
1:1	100%	kommunikáció alapú koordinált átkapcsolások	extra átvitel lehetséges

# Helyreállítás

---

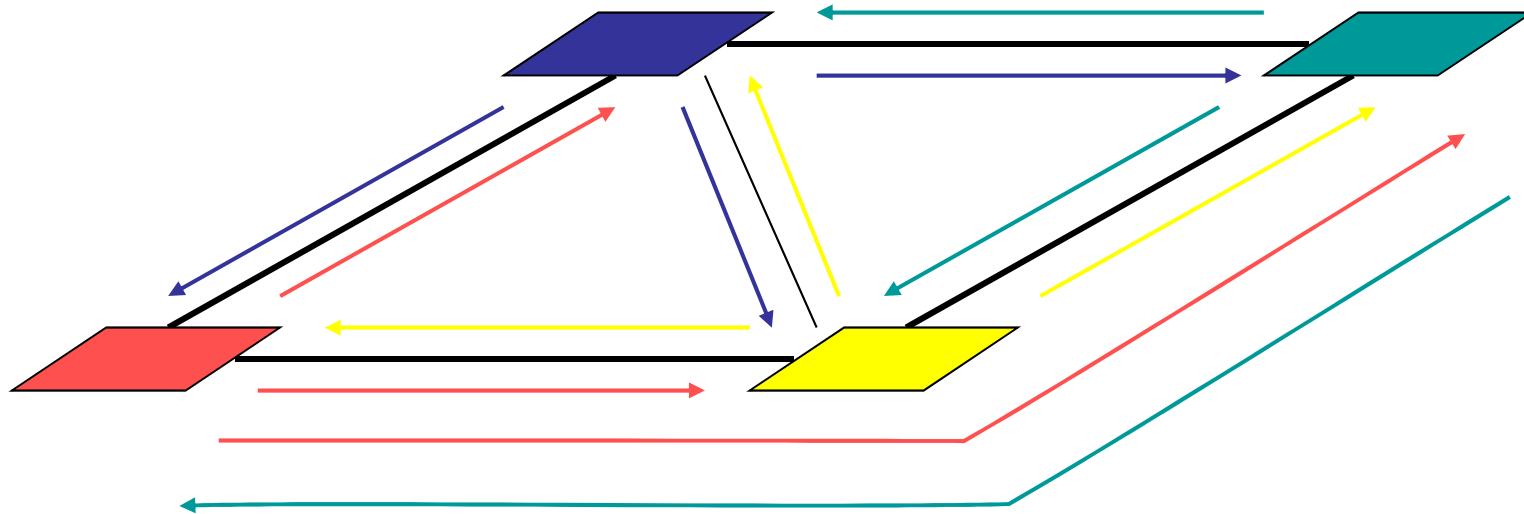
- *helyreállítás*: a szabad erőforrások hibaállapottól függő dinamikus felhasználása a hibahatások csökkentésére
- *tipikus feltételezés*: egyszerre egyetlen hiba, szakaszhiba
- *átrendezési stratégiák*: lokális/globális
- *vezérlés*: centralizált/elosztott,
- *helyreállító utak*: tárolt/valós időben számolt
- hatékony tartalékkapacitás felhasználás
- intelligens, magas szintű menedzsment rendszer vagy megfelelő elosztott intelligencia szükséges

# Automatikus topológia-felderítés és elosztott útvonalválasztás alapú megoldás

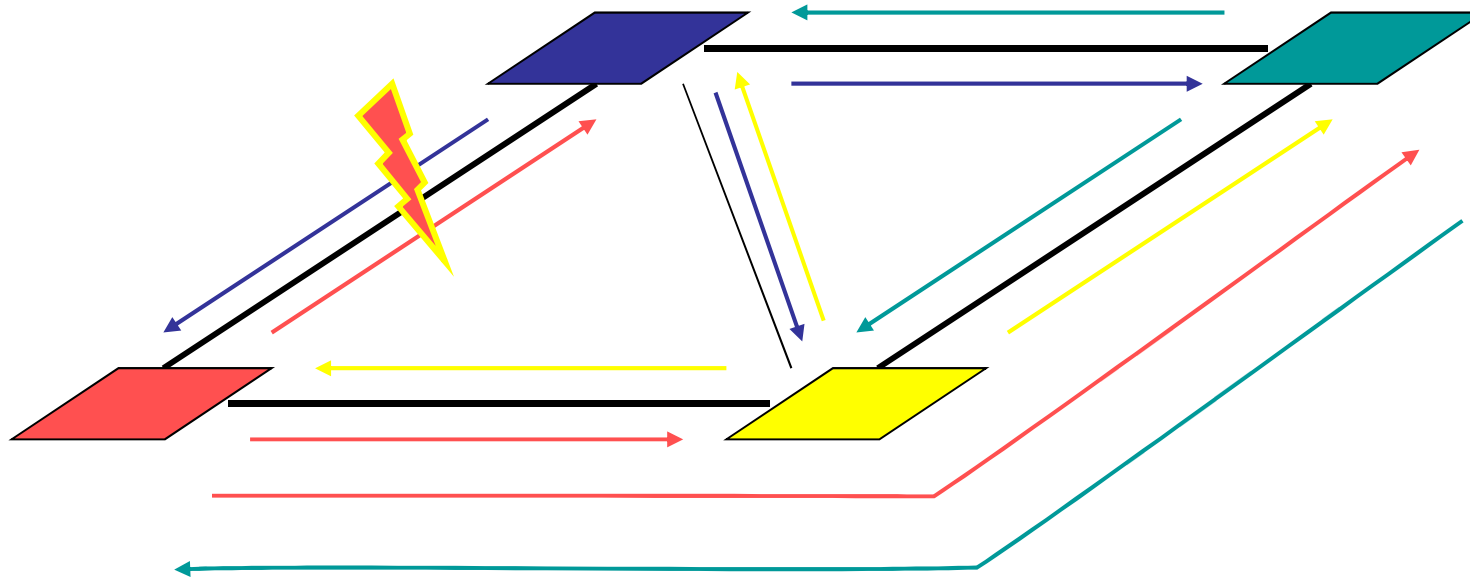
---

- elosztott routing protokoll
- érzékeli a topológia változását és adaptálja az utakat a megváltozott topológiára
- útszintű végponttól-végpontig helyreállításhoz hasonló
- egyes esetekben csak a topológia nyújtotta lehetőségektől (és nem a szabad erőforrásoktól) függ az adaptáció pl.
  - L3: OSPF
  - L2: Spanning Tree

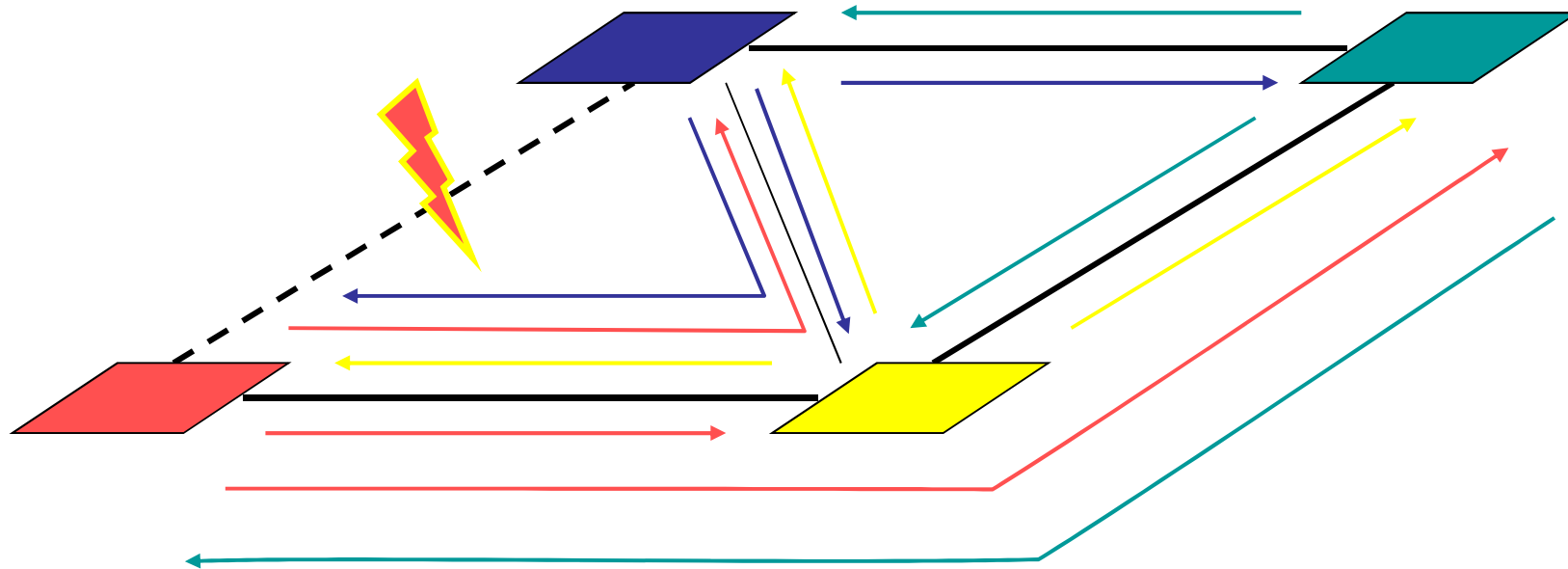
# Automatikus topológia-felderítés és elosztott útvonal választás alapú megoldás



# Automatikus topológia-felderítés és elosztott útvonal választás alapú megoldás



# Automatikus topológia-felderítés és elosztott útvonal választás alapú megoldás



# Alapsémák összefoglalása

---

- áramkör- és/vagy csomagalapú technológiákban is megvalósíthatók
- áramköralapú esetekben nem nyilvánvaló, hogy minden csomópont a szükséges felbontással kapcsolóképes, a kapcsolóképeség a konfigurációs flexibilitási követelmény miatt
- csomagalapú esetekben a kapcsolófunkció jelenléte nyilvánvaló

# A védelmi funkció kiterjesztése

---

- QoP – Quality of Protection
- DiR – Differentiated Reliability
  - homogén technológiai feltételek mellett
  - alapja az igények/forgalmak megkülönböztetése
  - skálázható védelmi séma/működés szükséges
- **Többrétegű szerkezetek**
  - védelmi képességek megvalósítására több technológiai réteg is alkalmas
  - hatékony erőforrás-felhasználás, redundancia elkerülése
  - együttműködés



# Többrétegű védelem

---

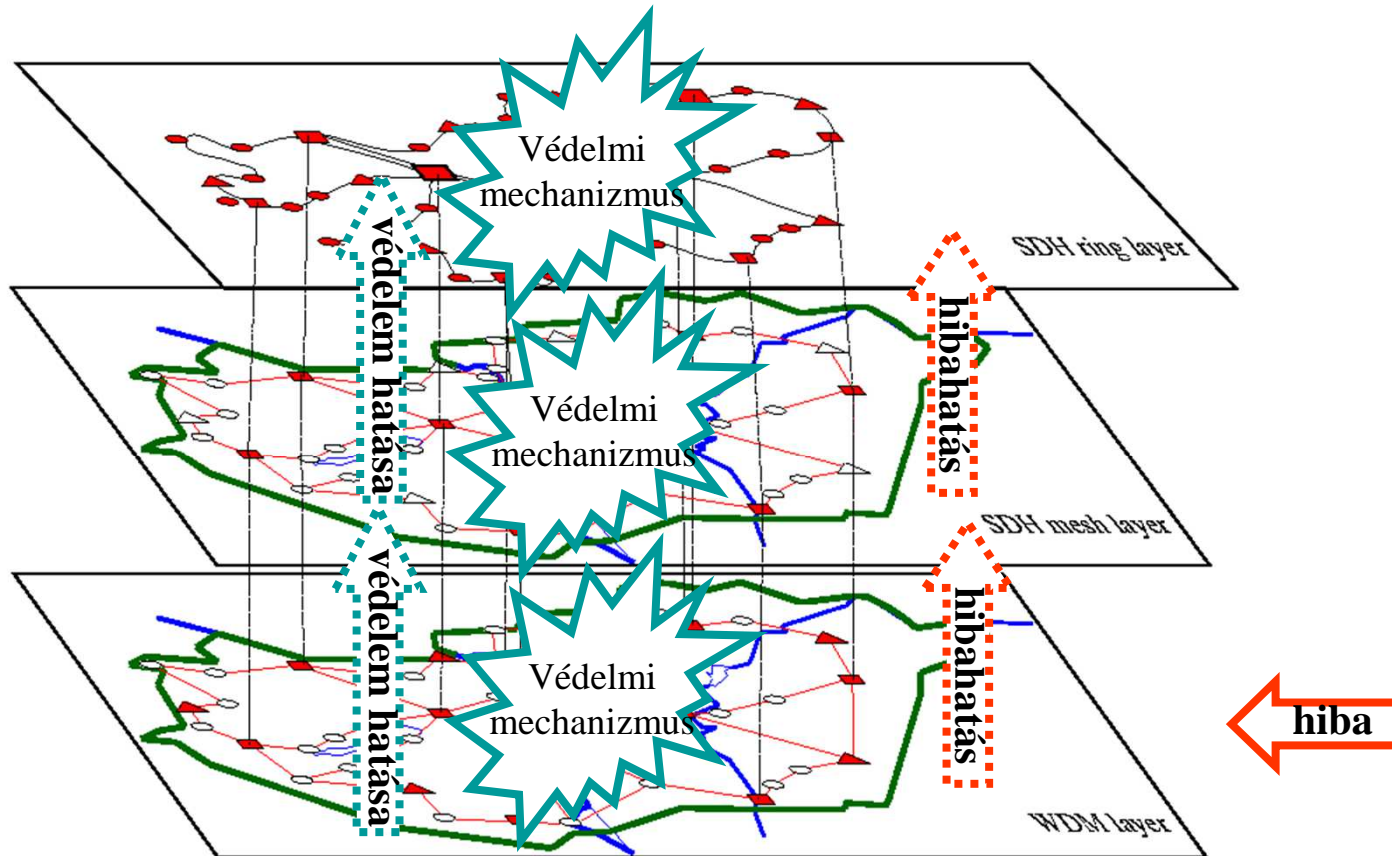
- védelmi képességek megvalósítására több technológiai réteg is alkalmas
- hatékony erőforrás-felhasználás, redundancia elkerülése
- együttműködés

# Hibahatások többrétegű védelem esetén

---

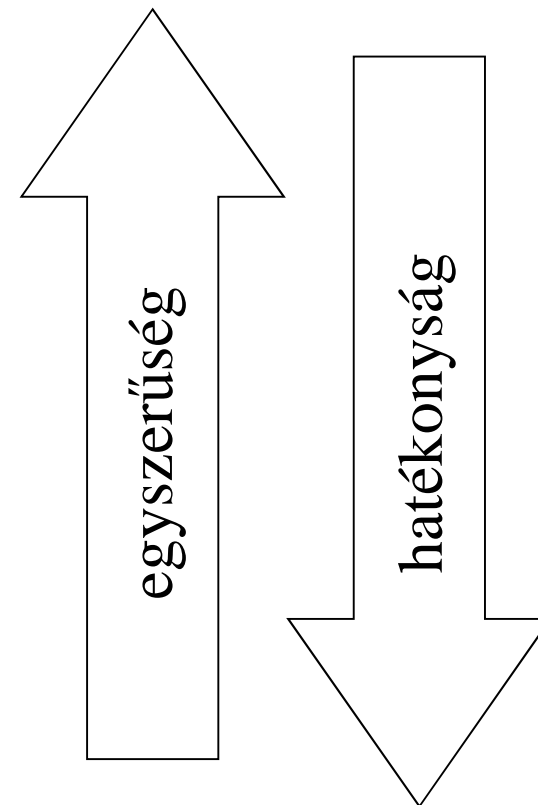
- hibaesemény egy adott rétegben
- a hibahatás felfelé (kliensek felé) továbbterjed
  - pl. egy kábelhiba -> több átviteli rendszer kiesése ...
- a védelmi mechanizmus (ha van) reagál
- a védelmi mechanizmus működésének eredménye felfelé (kliensek felé) továbbterjed

# Hibahatások többrétegű védelem esetén



# Együttműködés többretegű védelem esetén

- Az együttműködés mértéke:
  - nincs - független működés -> instabilitás veszélye
  - információcsere nélkül, konfigurálási alapon – időzítés -> az elérhetőnél lassabb reagálás
  - minimális információcsere – token -> rétegenként független tartalékok
  - szoros együttműködés – integrált menedzsment -> eltérő alapon működő technológiai rétegek együttes menedzselése ?!



# Védelmi alapok összefoglalása

---

- védelmi sémák: védelem, helyreállítás
- alkalmazásuk a technológiai és topológiai feltételek függvénye
- a védelem minősége: garantáltság, reagálási idő
- többretegű védelem: együttműködés módja

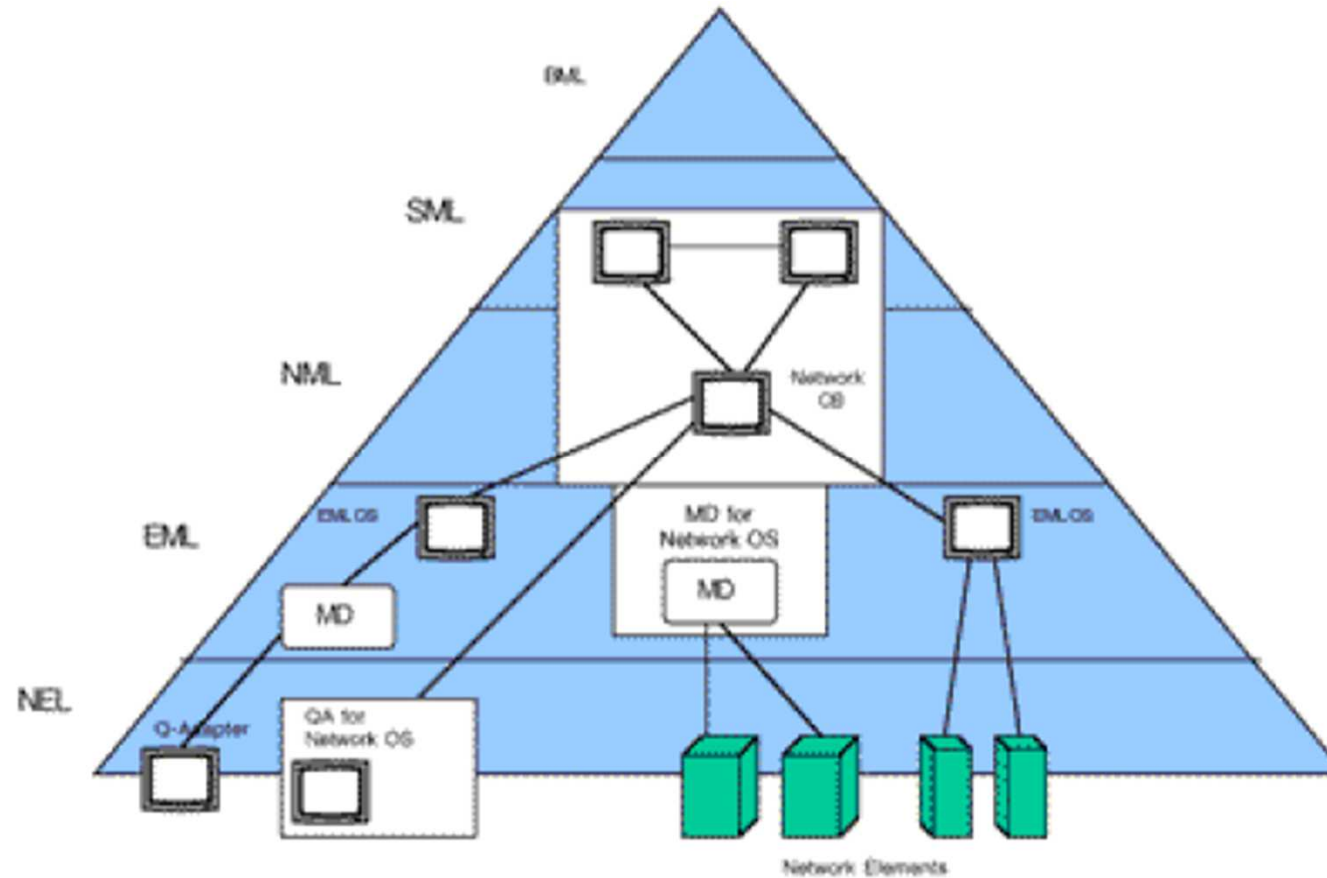
## 2. HIBAMENEDZSMENT

# TMN alapú áttekintés

---

- Telecommunications Management Network
- összeköttetések és kommunikáció különböző operációs rendszerek és távközlő hálózatok között
- ITU-T ajánlások sorozatával (M.3000) leírt infrastruktúra dinamikus távközlési szolgáltatások fejlesztésére és menedzselésére
- keretrendszer
- rugalmas, skálázható, megbízható, egyszerűen működtethető és könnyen fejleszthető
- alkalmazása javítja a hálózati képességeket és a hálózat hatékonyságát azáltal, hogy szabványos hálózat-menedzsment feladatokat és az azokhoz kapcsolódó kommunikációt definiálja.
- lehetővé teszi az információfeldolgozás szintek közötti megosztását
- alapja: a hálózattal kapcsolatos információk küldése, fogadása, feldolgozása és a hálózati erőforrások menedzselése

# A TMN logikai modell



- Business Management Layer
- Service Management Layer

- Network Management Layer
- Element Management Layer
- Network Element Layer



# A TMN logikai modell

---

- **üzleti menedzsment réteg (BML)**
  - magas szintű tervezés, pénzügyi folyamatok, üzleti döntések és megállapodások (BLA), stb.
- **szolgáltatásmenedzsment réteg (SML)**
  - a meglévő és jövőbeli végfelhasználói szolgáltatások menedzselése az NML által megjelenített felhasználói információk alapján
  - ez a felhasználókkal fenntartott kapcsolat alapja (szolgáltatás nyújtása, számlázás, minőség és hibák menedzselése)
  - meghatározó szerepe van a más üzemeltetési tartományba eső hálózatokkal és más hálózati szolgáltatókkal fenntartott kapcsolatokban is
  - karbantartja a QoS és QoP menedzseléséhez szükséges statisztikai adatokat (az SML OS-ek a Q3 interfészen keresztül kapcsolódnak az BML OS-ekhez)

# A TMN logikai modell

---

- **Hálózatmenedzsment (NLM) réteg**
  - az EML OS-ek (EMS\*-ek) által biztosított NE-infromációk alapján hálózati szintű képet nyújt a menedzselt hálózatról
  - menedzseli az egyes NE-eket és NE-csoportokat
  - összehangolja a hálózati tevékenységeket és kiszolgálja az SML-igényeket (az NML OS-ek a Q3 interfészen keresztül kapcsolódnak az SML OS-ekhez)

\*EMS – Element Management System – egy adott hálózat elem menedzseléséért felelős entitás (sw funkciókészlet)

# A TMN logikai modell

---

- **Hálózatelem-menedzsment (EML) réteg**
  - menedzseli a hálózatelemeket
  - a TMN által menedzselhető információkért felelős hálózatelem-menedzsereket (EMS) működtet az NE-kben
  - hálózatelem-adatokat, log-okat, működtetési akciókat menedzsel
  - logikailag az MD-k az NML-ben vannak akkor is, ha fizikailag máshol (NML-ban vagy SML-ben) vannak megvalósítva
  - az MD-k az EML OS-ekkel Q3 interfészen keresztül kommunikálnak
  - egy EML OS az NE-k egy-egy részalmazának általa menedzselte információit egy NML OS számára a Q3 interfészen biztosítja

# A TMN logikai modell

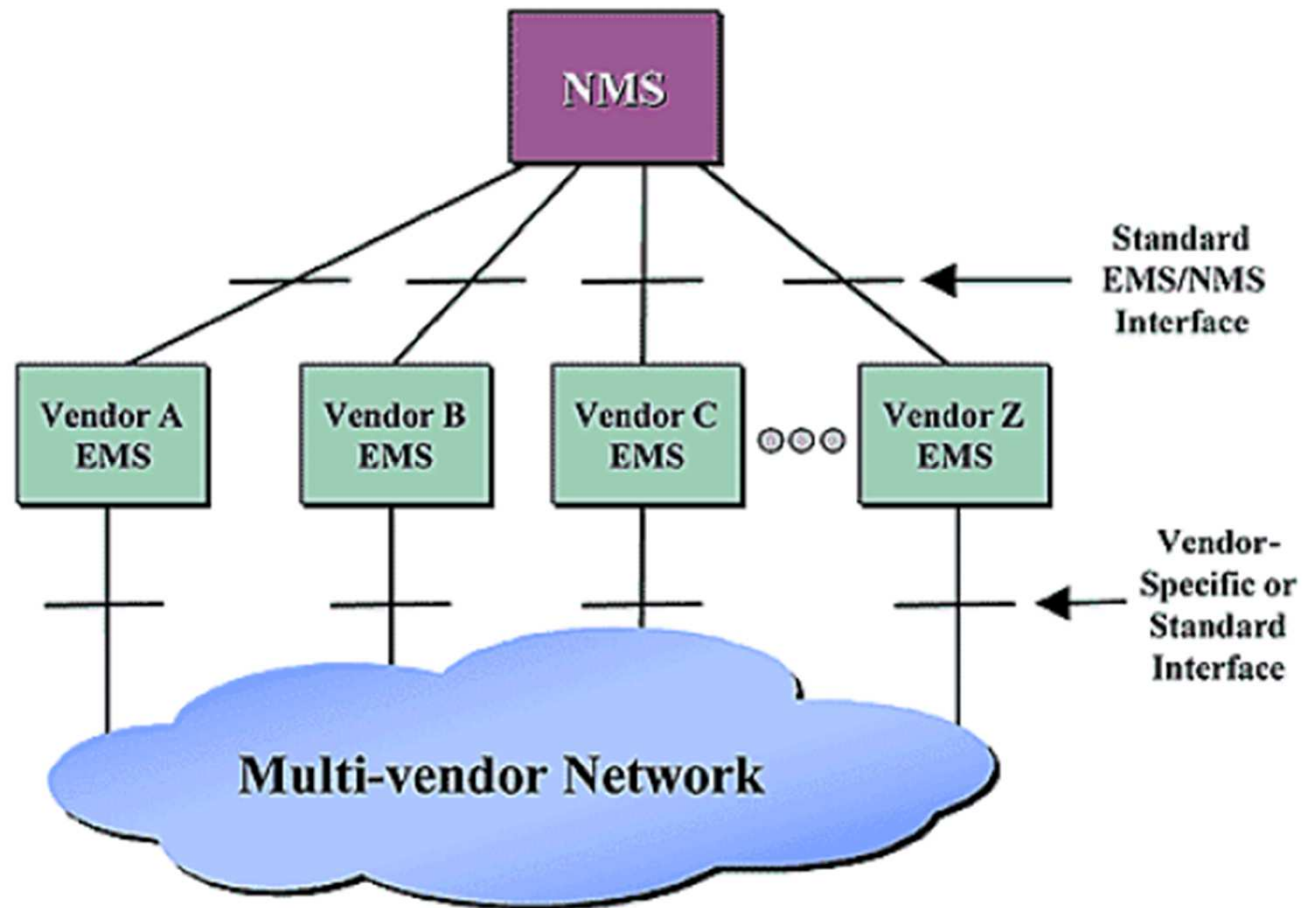
---

- Hálózatelem réteg (NEL)
  - az egyes NE-k menedzselhető információit biztosítja
  - a Q-adapter\* és az NE is a NEL-ben van
  - a NEL interfésszel a nem TMN-konform (proprietary) menedzselhető információk és a TMN infrastruktúra között

\*Q-adapter (QA) – lehetővé teszi a TMN számára nem TMN-kompatibilis interfésszel rendelkező NE-k menedzselését (a QA tölti be a fordító szerepét)

# Az EMS helye a TMN-ben

(különböző gyártók NE-inek integrálása)



# A TMN FCAPS modell

---

- A TMN rétegszerkezet mellett öt funkcionális kulcsterület (FCAPS)
  - hibamenedzsment (Fault)
  - konfiguráció-menedzsment (Configuration)
  - számlázás (Accounting)
  - teljesítmény/minőség-menedzsment (Performance)
  - biztonság-menedzsment (Security)

# A TMN FCAPS modell

hiba	konfiguráció	számlázás	teljesítmény	biztonság
riasztások	rendszerek	felhasználás nyomonkövetése	adatgyűjtés	NE hozzáférések ellenőrzése
hibadetektálás	hálózati szolgáltató-sok	számla kiállításához szükséges információk	jelentések	NE funkciók engedélyezése
hibajavítás	automatikus felderítés		adatelemzés	hozzáférések logolása
teszt és elfogadás	mentés és visszaállítás			
helyreállítás	adatbázisok kezelése			

# Az EMS funkciói

---

- **Adatokat és támogatást (operációk) szolgáltat**
  - a szolgáltatások kialakításához
  - a hálózatefejlesztéshez és tervezéshez
  - a hálózati képességek és állapotok automaikus felderítéséhez
  - a hálózat működtetéséhez
  - a folyamatos szolgáltatásnyújtáshoz
  - a hálózat fenntartási is helyreállítási folyamataihoz
  - a hálózati állapotok folyamatos ellenőrzéséhez
- **Funkciói:**
  - szolgáltatás létrehozása
  - szolgáltatás fenntartása
  - az EMS és NE műveletek támogatása
  - az automatikus beavatkozások támogatása



# Szolgáltatás létrehozása

---

- **Magas szintű folyamatok**
  - hálózatfejlesztés és tervezés
  - hálózati képességek felderítése
  - szolgáltatás-létrehozás
- **Támogató EMS funkcionális blokkok**
  - felderítés menedzsment-támogatása
  - konfiguráció-menedzsment
  - szolgáltatás-létrehozás menedzsment
  - szolgáltatás használatának monitorozása

# EMS funkcionális blokkok

---

- **felderítés menedzsment-támogatása**
  - NE-erőforrások leírása (hely, mennyiség, típus, sorozatszám, verzió, telepítés időpontja, stb)
- **konfiguráció-menedzsment**
  - erőforrások, topológiák, tartalékok felügyelete, telepítés és üzembe helyezés, szolgáltatáshoz rendelés, védelmi átkapcsolások, fizikai erőforrások logikai megosztása (VPN)
- **szolgáltatás-létrehozás menedzsment**
  - kapcsolatok, alhálózati képességek kialakítása, felhasználóhoz rendelése
- **szolgáltatás használatának monitorozása**
  - az erőforrások használatával kapcsolatos mérések (a számlázás alapja a számlázható funkciókat megvalósító NE-kben)

# Az EMS domain speciális feladatai

---

- **NE telepítés**
  - paraméterek beállítása, táblázatok betöltése
  - NE automatikus felderítés, információküldés az EMS adatbázisnak
  - rekk szintű grafikus leírás az automatikus felderítés alapján
  - kapcsolat felépítése és fenntartása a magasabb szintű OSS-szel
- **szolgáltatás kialakítása, kapacitástervezés**
  - kapcsolat-jellemzők automatikus felderítése (pl. cross-connect)
  - új kapcsolatok kialakítása EMS GUI vagy NML-folyamat alapján
  - NE-információk (modul, sorozatszám, foglaltság, stb.) az SML felderítő funkciók számára
  - szabad kapacitásokkal kapcsolatos információk szolgáltatása

# Az EMS domain speciális feladatai

---

- **NE upgrade**
  - az új NE automatikus felderítése
  - NE SW-javítások (patch) letöltése
  - új NE SW-verziók letöltése
  - NE-EMS HW és SW változatok közti összhang fenntartása
- **az NE és az EMS adatbázisai sértetlenségének biztosítása**
  - mentés, visszaállítás
  - NE – EMS kapcsolat állapotának monitorozása, megszakadt kapcsolat helyreállítása után adatbázisok szinkronizálása
  - üzemeltetés-biztonsági megfontolásokból EMS – NE adatbázisok szinkronizálása periodikusan

# Szolgáltatás fenntartása

---

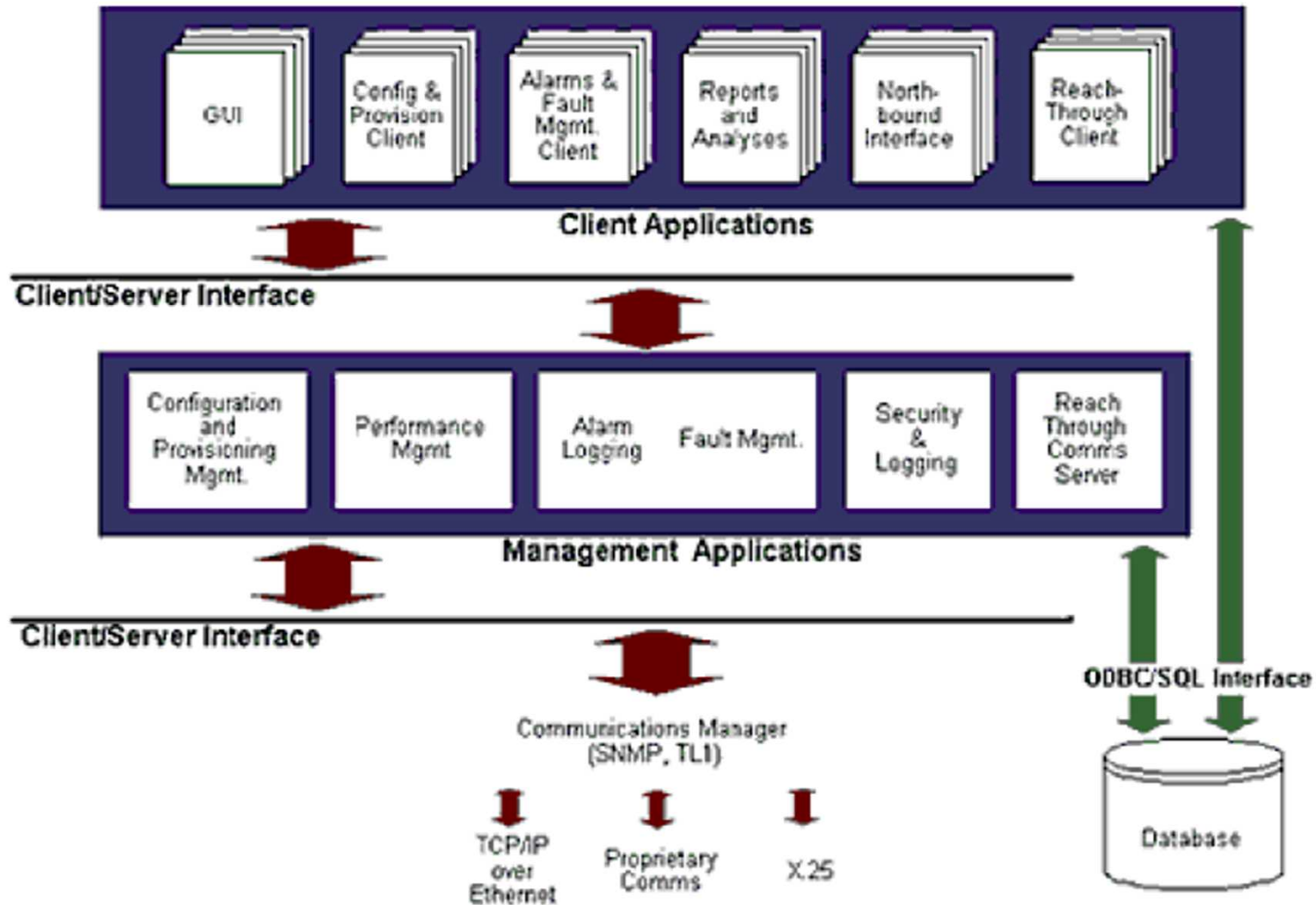
- **hibamenedzsment támogatás**
  - hálózati erőforrások felügyelete, degradációk, hibák automatikus detektálása
  - hibabehatárolás, hibaelhárítás
  - a szolgáltatások folyamatosságának fenntartása
- **teljesítményjellemző adatok gyűjtése**
  - a hálózati erőforrások minőségjellemzőinek periodikus gyűjtése a szolgáltatások élettartama alatt
  - trendek megjelenítése az összegyűjtött adatok alapján a fizikai erőforrások periodikus vagy fokozatos degradációjának jelzésére
- **erőforrás-kihasználtsági adatok gyűjtése**
  - a felhasználókhöz rendelt erőforrások kihasználtsági adatainak gyűjtése, a szolgáltatás és a felhasználás jellemzői illeszkedésének folyamatos ellenőrzése
  - trendek a felhasználásban, QoS jellemzőkre gyakorolt várható hatások

# Az EMS domain speciális feladatai

---

- **hibabehatárolás**
  - a magasabb szintű NML hibamenedzsment és a SML hibajegyek biztosítják az első riasztást és azonosítják a hiba eredetét
  - az EMS-adatbázis és az EMS-eszközök segítségével ezután pontosan diagnosztizálható a hiba
  - az EMS egyszerű lehetőséget nyújt az NE-k vizsgálatát támogató folyamatok (pl. visszahurkolás) eredményeinek megjelenítésére
- **szolgáltatásminőség**
  - az EMS képes a beállított minőségi jellemzők (pl. SLIPS, BER) megsértését detektálni és jelezni az NML hibamenedzsmentjének
  - az EMS tárolhat teljesítőképességi mérésekkel kapcsolatos adatokat és hozzáférhetővé teheti azokat az EMS jelentéskészítő funkciók, az SLM teljesítmény/minőségmenedzsment és a QoS támogató rendszer számára
  - az NE és az EMS képességeitől függően diagnosztikai funkciók, valamint azok igény szerint ütemezett aktiválása is lehetséges

# EMS SW-architektúra



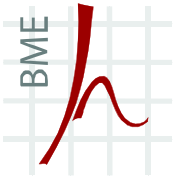
# 3. RENDELKEZÉSREÁLLÁS



# Alapprobléma

---

- ***véletlen meghibásodások történhetnek egy hálózatban***
  - vagy rosszindulatú beavatkozások is (determinisztikus)
- **hibatűrés növekvő jelentőség**
  - egyre több kritikus alkalmazások
  - piaci verseny, szolgáltatások minősége
  - új technológiai lehetőségek
- **az alapkérdések**
  - Hogyan növelhető? - Id. tanult védelmi lehetőségek
  - Hogyan jellemezhető? - modellek, paraméterek
  - Hogyan határozható meg?- esetleg közelíthető



# Teljesítőképeségi (Performability) paraméterek

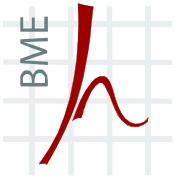
---

- **jellemzők:**
  - valamennyi esetre általános modell
  - valós forgalmi útvonalválasztás
  - valós teljesítmény degradációs mérőszámok (kapcsolt hálózatok)
- **problémák:**
  - különlegesen időigényes (teljesítmény analízis minden hibaállapotban)

# Alapmodellek

---

- él/csomópont/mindkettő típusú hibák
- függő/független elemek
- két-/többállapotú elemek
- speciális/általános gráfok
- maxflow/fix/reaktív útvonalválasztás
- összefüggőség/kapacitás/forgalmi mérőszámok
- *nagyon sokféle analízis technika*

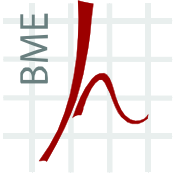


# Teljesítőképeségi (Performability) paraméterek (Definíció)

$$NPI = \frac{\mathbf{E}(Perf)}{Perf_{\max}} = \frac{\sum_{y \in Y} Perf(\mathbf{y}) \Pr(\mathbf{y})}{Perf_{\max}}$$

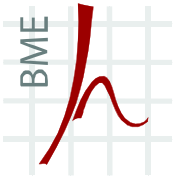
$$g(\mathbf{y}) = 1 - \frac{Perf(\mathbf{y})}{Perf_{\max}}$$

$$AL = \mathbf{E}g(\mathbf{y}) = \sum_{y \in Y} g(y) \Pr(y) \quad NO(c) = P(g(\mathbf{y}) > c) = \sum_{y \in Y: g(y) > c} \Pr(y)$$



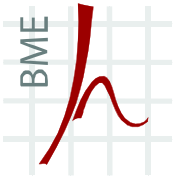
# Teljesítőképeségi (Performability) paraméterek (Kiegészítő megjegyzések)

- a várható teljesítmény (veszteség) viszonya a maximálishoz
  - teljesítmény-eloszlás
  - minden paraméter kifejezhető ezen paraméteren keresztül
- De újabb problémák megjelenése!***



# Teljesítőképeségi paraméterek (feladatok)

- állapotonként
  - állapotvalószínűségek:  $\Pr(\mathbf{y})$
  - teljesítményjellemzők:  $\text{Perf}(\mathbf{y})$ ,  $g(\mathbf{y})$
- „valamennyi állapotra”:
  - alapgoldás: kimerítő állapot sorravétel



# Állapotvalószínűségek előállítása (egyszerű, ha függetlenek az elemek)

$$A(C_l) = \text{PR}(S(C_l) = 1) = \frac{1}{1 + \lambda(C_l) \text{MDT}(C_l)}$$

$$\text{Pr}(\mathbf{y}) = \prod_{C_l \in CU} A(C_l)$$

# Védelmi megoldások teljesítmény- jellemzőjének meghatározása

- Egy adott  $y$  hálózati állapotra a sikeresen kiszolgált igények kapacitásának összege (igényosztályonként)

$$D^c = \{d_{i,j}^c\}, \text{perf}(y) = \sum_{\forall i,j:\exists p_{i,j,y}^c} d_{i,j}^c$$

- $d_{i,j}^c$  – az  $i,j$  pontok közti igény a  $c$  igényosztályban
- $p_{i,j,y}^c$  –  $d_{i,j}^c$  útja az  $y$  hálózati állapotban



# Kritikus kérdések

---

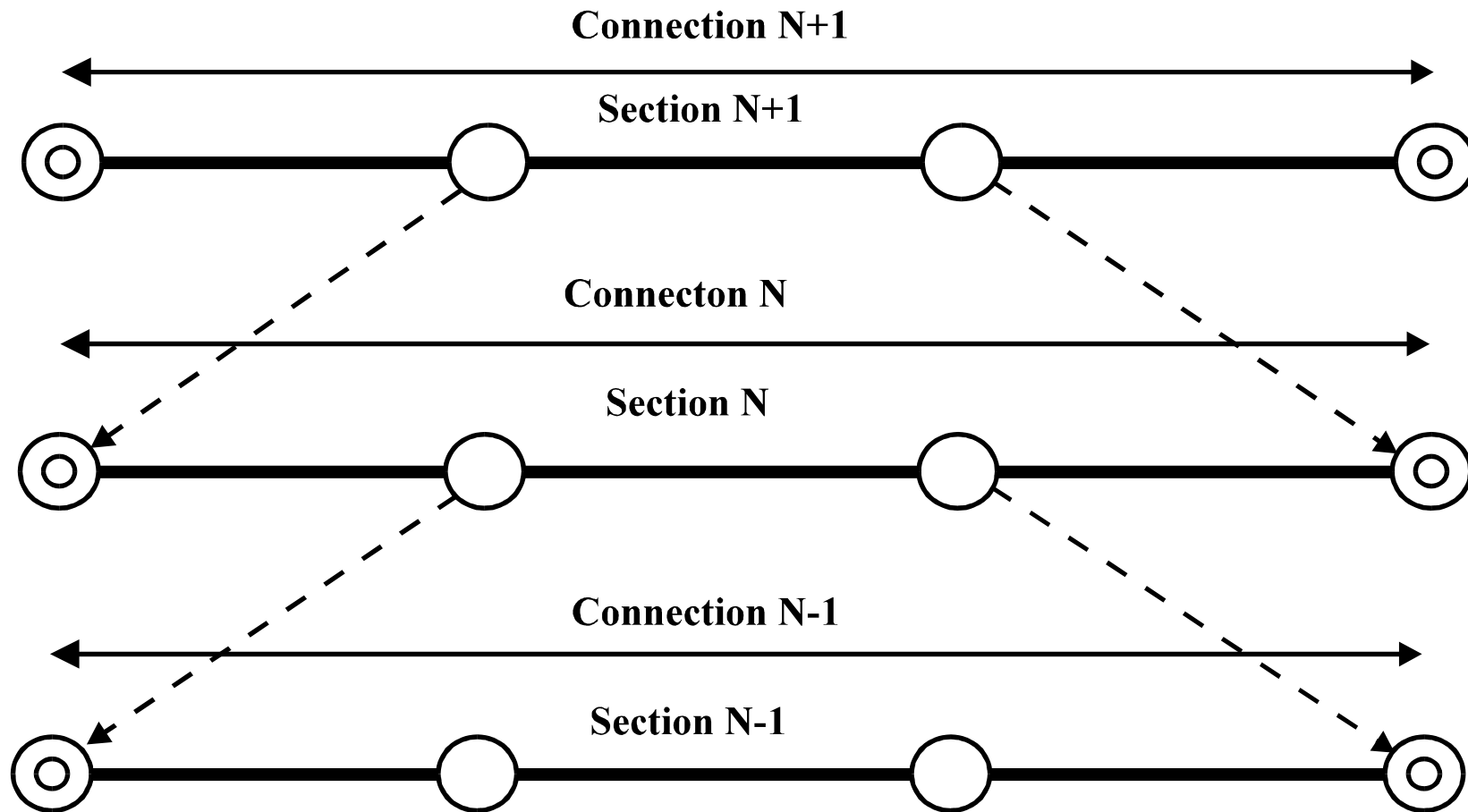
- **hálózatelemek száma**
  - (legegyszerűbb MT IP-WDM magyar gerinchálózat ~ 100 csomópont, ~1000 kétállapotú hálózatelem)
- **többrétegű hálózat**
  - 10 - 100-szor több csomópont
- **védelmi hatások (újratervezés)**
  - Markovi? (Sajnos sokszor nem!)
- **forgalmi (telj.) index (*teljes telj. anal.*)**
  - Vajon az ideális eset megoldott-e?

# Lehetséges válaszok

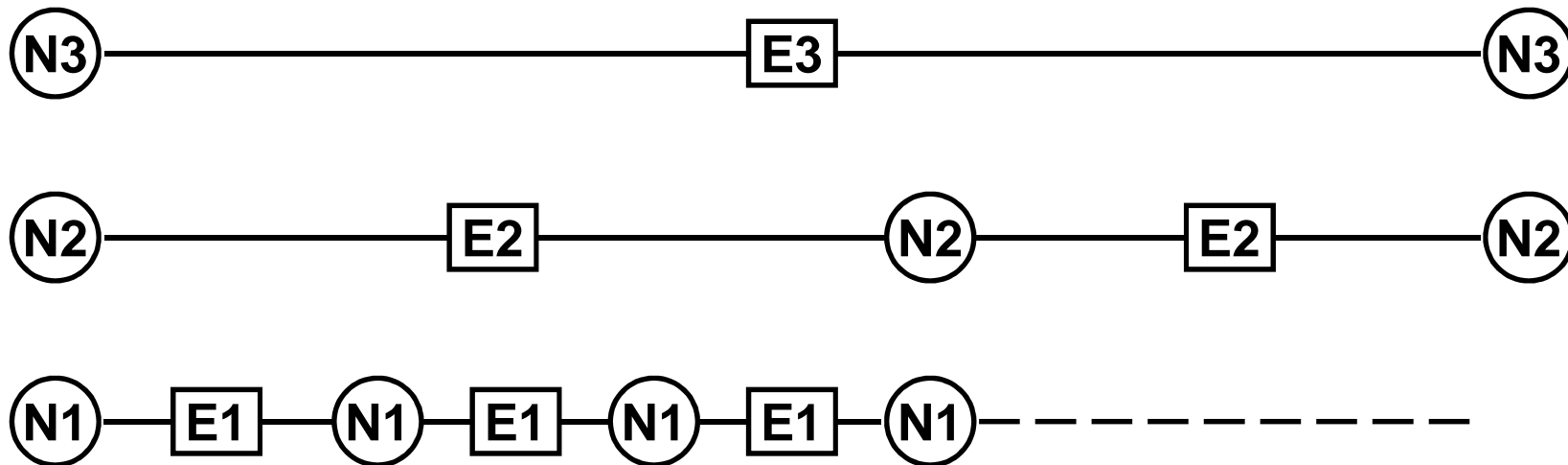
---

- **többrétegű átviteli hálózatok**
  - többségében analízis eredmények modellek nélkül
- **állapotok száma: alsó-felső korlátok a paraméterekre**
  - Li-Silvester: kétféle állapotcsoport (teljesen kezelt --- ideális és „worst case” esetek)
- **teljesítőképeségi (újratervezési) analízis:**
  - állapotok mintavételezése

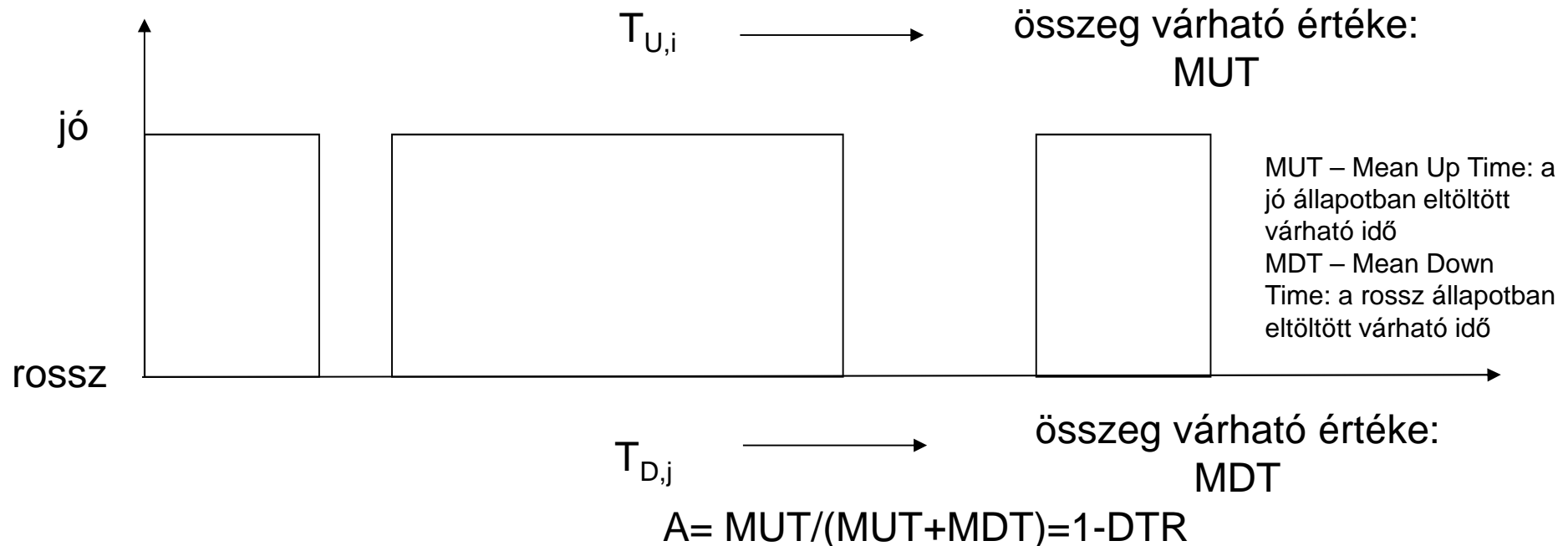
# Többrétegű hálózatmodell



# Többrétegű megbízhatósági modell (három-rétegű példa)



# Rendelkezésre állás, kiesési időarány



A – Availability, rendelkezésre állás, DTR – Down Time Ratio, kiesési időarány

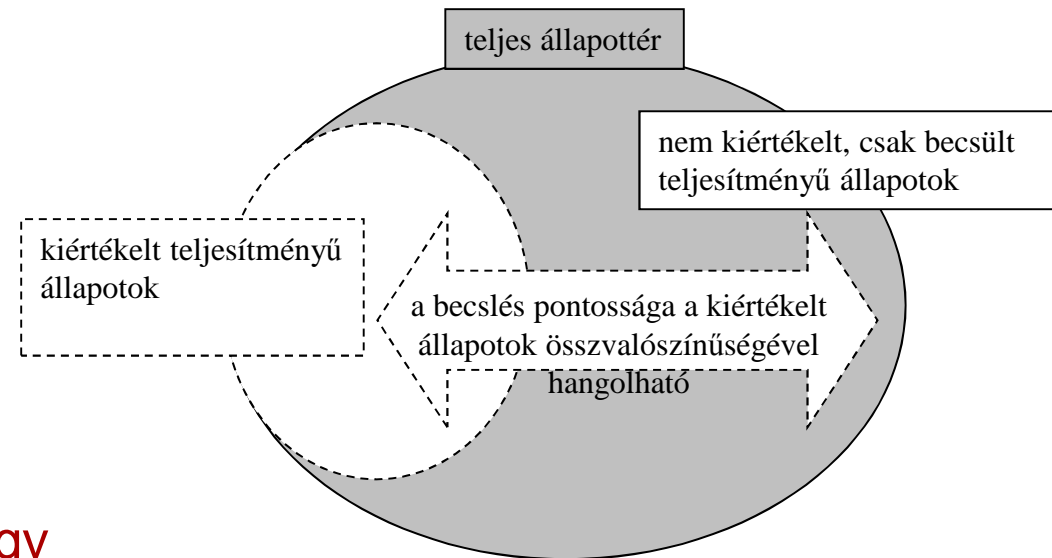
- kétállapotú rendszer, ha teljesíti a követelményeket jó, ha nem akkor rossz
- véletlen folyamat, statisztikus leírás (várható értékek)
- az idő százalékában kifejezve (egy év = 8760 h, ~10000 h)

- Gyakorlati esetekben nem skálázódó hálózati állapottér
- Becslések, korlátok
- Determinisztikus becslés: Li-Silvester módszer
- Statisztikus becslés:
  - Monte-Carlo módszer: kiértékelendő állapotok „vak” sorsolása
  - Stratified Sampling: a hálózatról rendelkezésre álló tudás felhasználásával állapotcsoportokat (hibarétegeket) alakítunk ki, és ezekből sorsolunk kiértékelendő állapotokat

# Rendelkezésreállítás számítása

## Lee-Silvester becsléssel

- Nagy állapottér (~1000 kétállapotú, függetlenül meghibásodó hálózatelem)
- Becslés, aminek pontossága a ki nem értékelt állapotok összvalószínűségével arányos
- Védett hálózatokban (egy hiba elleni védelem) legalább a kéthibás állapotokat ki kell értékelni



# Determinisztikus korlátok (Li - Silvester megközelítés)

$$\begin{aligned}
 \mathbf{E}g(\mathbf{y})_{\max} &= \\
 &= \sum_{\mathbf{y} \in Y_0} g(\mathbf{y}) \Pr(\mathbf{y}) + \sum_{\mathbf{y} \in Y_c} g_{\max}(\mathbf{y}) \Pr(\mathbf{y}) = \\
 &= \mathbf{E}g(\mathbf{y})_{\min} + \sum_{\mathbf{y} \in Y_c} \Pr(\mathbf{y})
 \end{aligned}$$



# Li-Silvester becslés

Li-Silvester alsó és felső korlátok előállítás:

$$NPI_{min} = \frac{\sum_{y \in Y_0} Perf(y) p(y)}{Perf_{nom}} + \frac{\sum_{y \in Y_c} Perf_{min} p(y)}{Perf_{nom}}$$

$$NPI_{max} = \frac{\sum_{y \in Y_0} Perf(y) p(y)}{Perf_{nom}} + \frac{\sum_{y \in Y_c} Perf_{max} p(y)}{Perf_{nom}}$$

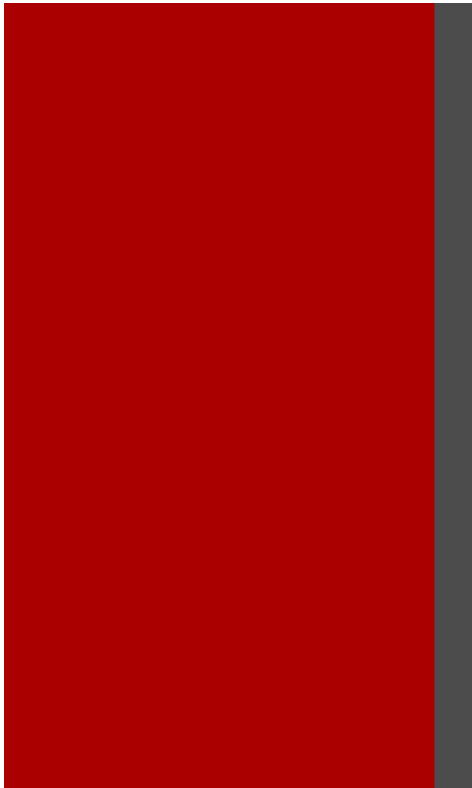
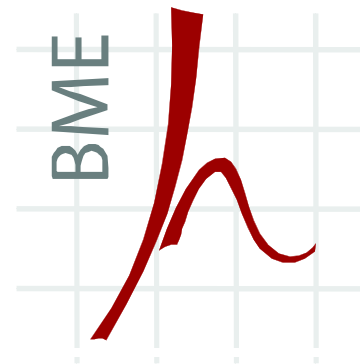
Egy egyszerű eset a veszteség meghatározása, amikor  $Perf_{nom} = 1 = Perf_{max}$  és  $Perf_{min} = 0$ , ekkor:

$$NPI_{max} - NPI_{min} = \sum_{y \in Y_c} p(y)$$

# Stratified Sampling

---

- A hálózati komponenseket osztályokba soroljuk, ezek meghibásodását vizsgálva az állapotér hibavektorai is  $L$  db diszjunkt réteget alkotnak.
- Meghatározzuk az egyes rétegekben tartózkodás valószínűségét.
- Adott  $N$  összmintaszám mellett definiáljuk az egyes rétegekből venni kívánt minták számát.
- Rétegenként a Monte Carlo módszert alkalmazva kisorsoljuk a megfelelő számú mintát, és ezek alapján megbecsüljük a feltételes várható értékeket.
- A rétegvalószínűségek és a rétegenkénti feltételes várható értékekre vonatkozó becslések alapján kiszámítjuk a teljes hálózatra vonatkozó becslést.



## Ilustrációk

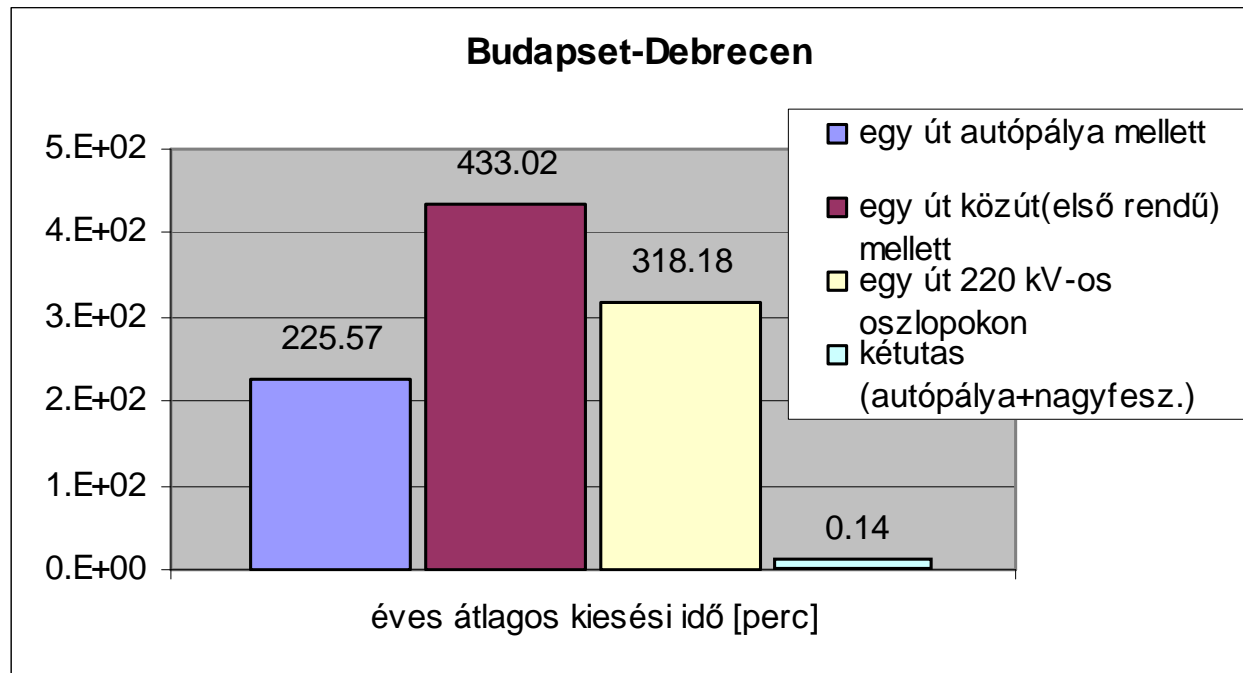
# Illusztrációk rendelkezésreállítás számításához

---

- Kanonikus modell alkalmazása: függetlenül meghibásodó párhuzamos kábelszakaszok  
(forrás: [http://www.hit.bme.hu/~jakab/Papers/2010/HTE\\_IC2010\\_cikk\\_v7.pdf](http://www.hit.bme.hu/~jakab/Papers/2010/HTE_IC2010_cikk_v7.pdf) és [http://www.hit.bme.hu/~jakab/Papers/2010/HTE\\_IC2010\\_EA07.pdf](http://www.hit.bme.hu/~jakab/Papers/2010/HTE_IC2010_EA07.pdf))
- Valós méretű és komplexitású IP-WDM hálózat elemzése  
(forrás: [http://www.hit.bme.hu/~jakab/Papers/2007/SPECTS2007\\_Paper114.pdf](http://www.hit.bme.hu/~jakab/Papers/2007/SPECTS2007_Paper114.pdf) és [http://www.hit.bme.hu/~jakab/Papers/2007/SPECTS07\\_pres01.pdf](http://www.hit.bme.hu/~jakab/Papers/2007/SPECTS07_pres01.pdf))

# Budapest – Debrecen optikai kábel

optikai kábel építési mód	Korrektíós tényező (a közúti jellemzőhöz képest)		MTBF	Javítás	DTR
	MTBF	MTTR	[óra]	[óra]	
alépítménybe telepített (városi)	0.85	0.66	1501464	3.9	2.60E-06
földbe telepített mezei (közút)	1	1	1760760	5.92	3.36E-06
alépítménybe telepített (autópálya)	1.25	0.7	2200950	4.144	1.88E-06
nagyfesz. Oszlopokon (távvezeték)	10	8	17607600	47.36	2.69E-06



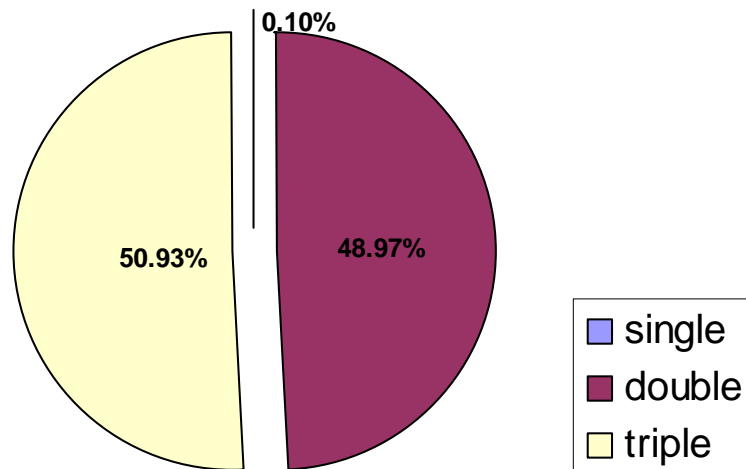
Kábelhosszak:  
városi: ~ 10km  
autópálya: ~ 220km  
közút: ~ 240 km  
távvezeték: ~ 200km

# IP-WDM hálózat - adatok

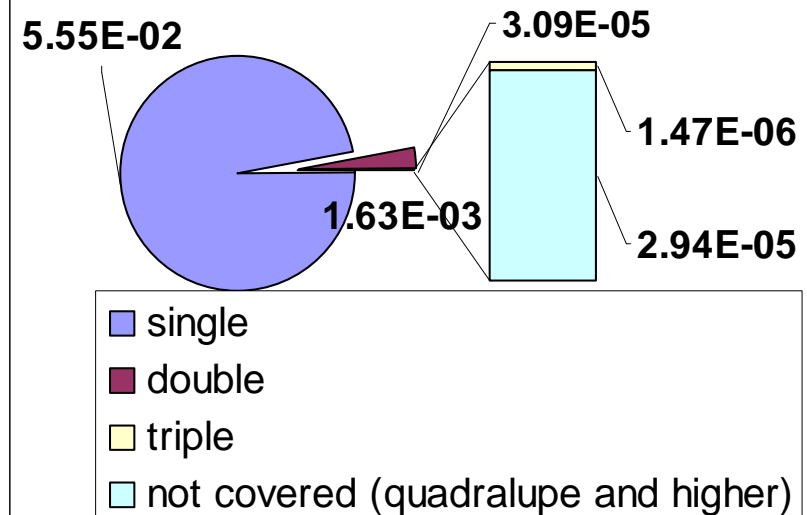
Hálózatelem	Elemek száma	DTR nagyságrendje
Router	119	$10^{-4} \text{ .. } 10^{-5}$
Router interfész kártya	286	$10^{-5}$
Optikai csatorna	32	$10^{-5}$
Optikai multiplex szakasz	36	$10^{-4}$
Optikai erősítő szakasz	56	$10^{-5}$
Kábelszakasz (hosszfüggő)	437	$10^{-4} \text{ .. } 10^{-6}$
Telephely (közös elemek, pl. áramellátás)	33	$10^{-7}$

# IP-WDM hálózat - eredmények

**Distribution of covered failure cases according to the number of failed network elements**



**Accumulated probability of failure categories (the probability of the failure free state is 0.94284)**



- 999 model elements,
- 1 000 000 failure configurations

# IP-WDM hálózat - összegzés

---

- Az 1 000 000 elemzett hibaállapot összvalószínűsége: 0.9999706
- Az elemzett 1 000 000 hibaállapot 445874 különböző Layer 3 topológiai konfigurációt eredményezett (működő/kiesett IP linkek kombinációja)