

# Automatikusan kapcsolt optikai hálózatok (Automatically Switched Optical Networks, ASON)

LAKATOS ZSOLT

BME Híradástechnikai tanszék  
lakatos@hit.bme.hu

**Kulcsszavak:** optikai transzport-hálózatok, vezérelt optikai rendezők, ASON, hálózati esettanulmányok

A cikk az EURESCOM P1012 FASHION projekt eredményei alapján összefoglalja a kialakulás fázisában lévő automatikusan kapcsolható optikai hálózati technológia alapjait (ITU G.8080/Y.1304 (11/01)). A cikk célja a motivációk, elvárások, szolgáltatói és szolgáltatási igények, valamint a lehetséges megvalósítások bemutatása. Az összefoglaló néhány esettanulmányra alapozottan a követelmények kielégítésére kialakított hálózati architektúrák meghatározó tulajdonságait is illusztrálja.

## 1. Bevezetés

Az internet felhasználók számának gyors növekedése egyre nagyobb sávszélességet követel a gerinchálózatban. A meglévő gerinchálózati optikai infrastruktúrát legjobban a hullámhossz-multiplexáláson (WDM, Wavelength Division Multiplexing) alapuló technológia használja ki. A már kereskedelemben kapható eszközök szálanként akár 320 [Luc01] hullámhosszt néhány 100 km-es távolságra hullámhosszanként 10 Gb/s sebességgel is képesek megvalósítani.

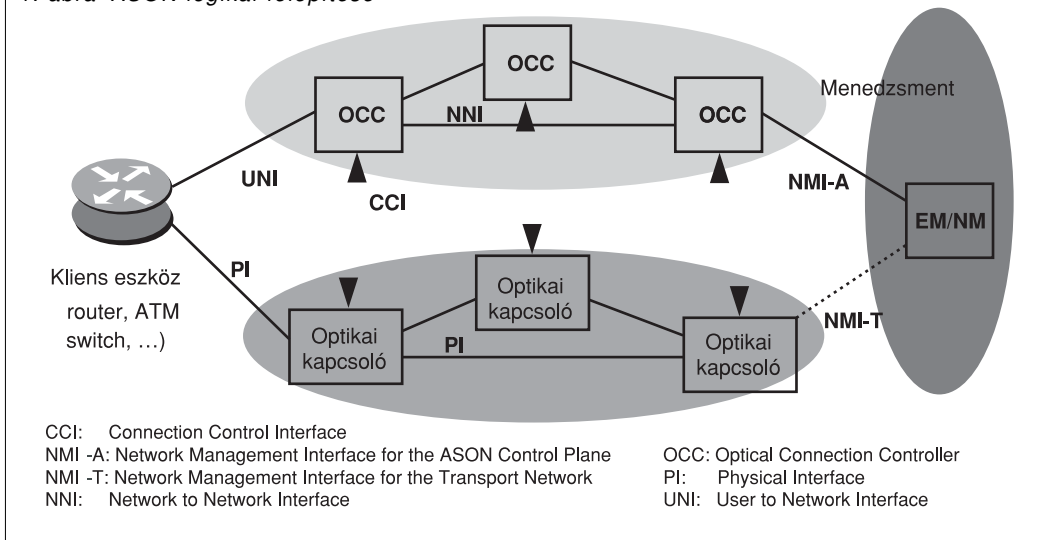
A jelenlegi WDM rendszerekből a globális menedzsmentrendszer hiánya miatt lassú, félrekonfigurálási veszélyeket is magába foglaló szolgáltatásnyújtási folyamat, valamint kizárólag egyszerűbb pont-pont kapcsolatok és az ezekhez tartozó pont-pont szerkezetű védelmi megoldások alakíthatók ki, illetve az optikai átviteli rendszertechnikák fizikai megvalósítása miatt a csomóponti funkciók bizonyos része elektronikus (hullámhossz-konverzió, a 3R /regenerálás, jelújraformálás, újraidőzítés/). A hálózati funkciók részhalmozának elektronikus megvalósítása az optikai réteget kliensspecifikussá tesz, ami jelentősen megnöveli a későbbi hálózatfejlesztés és a változó követelmények kielégítésének költségeit. A követelmények megváltozásának legriválisabb formája az adott kliens (például IP) forgalmi szerkezetének (irányultság és mennyiségének) átalakulása, vagy az általa kiszolgált forgalom minőségi elvárásainak megváltozása (például QoS IP forgalom).

## 2. Célkitűzések, elvárások, követelmények

Az OTN (Optical Transport Network) [Gla01] koncepcióját továbbfejlesztve és az új követelményeket figyelembe véve alakult ki a Kapcsolt Optikai Hálózat (Automatically Switched Optical Networks, ASON). Az ASON alapja a klasszikus OTN, amely az elvárásokhoz igazodva kiegészült számos fejlett menedzsmentfunkcióval, illetve egy önálló vezérlő síkkal, amely jelentősen leegyszerűsíti a hálózat üzemeltetését. A kapcsolt optikai hálózat transzportrétegbeli csomóponti építőeleme az OXC (Optical Cross Connect), és az ezeket vezérlő OCC-k (Optical Connection Controller) (1. ábra).

A kapcsolás alapegysége az optikai csatorna (OCh, Optical Channel), ami tipikusan 1 Gb/s, 2,5 Gb/s vagy 10 Gb/s sávszélességű összeköttetést jelent. Köszönhetően az automatikus konfigurálási és menedzsmentfunkcióknak, a gyorsan felépíthető és lebontható összeköttetések kiválóan alkalmazkodnak a változó forgalmi terheléshez, a módosuló topológiához és az esetleges hálózati meghibásodásokhoz.

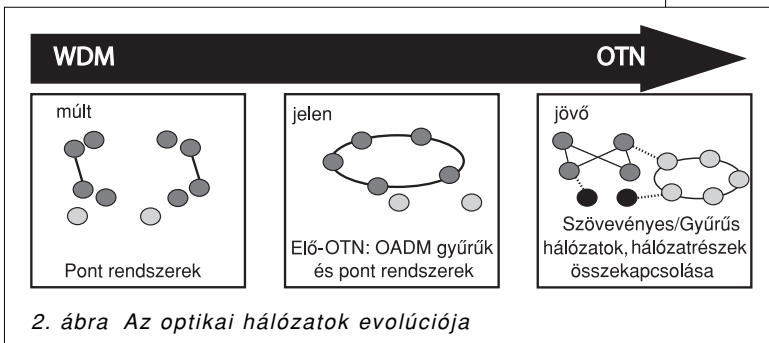
1. ábra ASON logikai felépítése



Az ASON jelzésrendszere lehetővé teszi, hogy a felhasználó az UNI-n keresztül kérje a kapcsolat-felépítést, ezért ez később majd felhasználható arra, hogy a szolgáltatások gyors megvalósítása érdekében a kapcsolatokat közvetlenül a felhasználó vezérelhesse.

### 3. Migrációs, bevezetési megfontolások

Néhány évvel ezelőtt a szolgáltatók többsége megkezdte a WDM rendszerek bevezetését, amelyek segítségével a fényvezetők kapacitását a többszörösére tudták növelni. A szálak jobb kihasználása kisebb kapacitásegységre jutó költséget eredményezett. A hálózati csomópontok kialakításában résztvevő gyártási technológiák gyors fejlődése mára már lehetővé teszi, hogy a csomóponti berendezések a hálózat menedzselését elősegítő funkciókat is tartalmazzanak. Ez volt az első lépés az optikai transzporthálózathoz vezető úton (2. ábra).



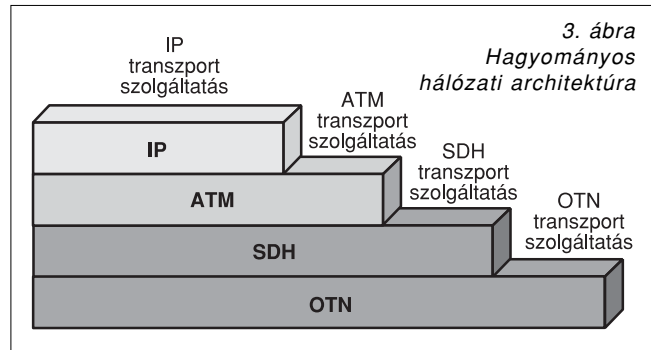
2. ábra Az optikai hálózatok evolúciója

A WDM technológia későbbi szakaszaiban, a termékek integráltsági fokának növekedése következtében a következő hálózati funkciók is fokozatosan elérhetővé váltak:

- teljesítménymonitorozás és riasztás
- optikai csatornakezelés és védelem
- hálózatmenedzsment
- hálózati szolgáltatók (önállóan menedzselte hálózatrészek) közötti kommunikáció

Az OTN kialakulásának következő fázisa az elő-OTN állapot. Ebben a fázisban a növekvő kapacitási igény hatására az üzemeltetők célja a meglévő optikai infrastruktúra minél hatékonyabb kihasználása, ezért a pont-pont rendszerekre és a fix eszközökre alapozva összetettebb gyűrűs szerkezetek is kialakításra kerülnek.

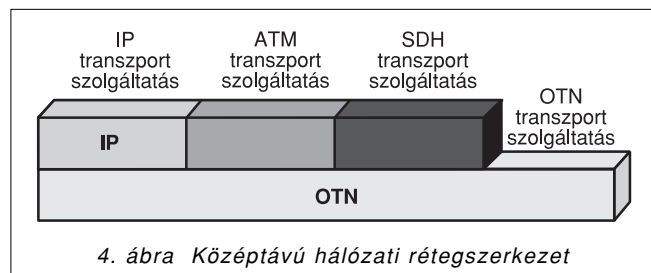
Az egyes hálózati funkciók eltérő rétegbeli implementálása miatt napjaink távközlési hálózatai több rétegből épülnek fel (IP, ATM, SDH, Ethernet, WDM). Tipikusan az OTN réteg szolgáltatja a nagykapacitású pont-pont összeköttetéseket, az Ethernet alacsony költségek mellett biztosít nagysebességű, de az optikai infrastruktúra kihasználása szempontjából nem túl hatékony, egyszerű védelemmel rendelkező átviteli utakat, az SDH hatékonyan képes kiszolgálni a minőségi követelményeket igénylő kapcsolatokat (dedikált sávszélesség, védelem), az ATM biztosítja a rugalmas átkonfigurálást és a minőségi követelmények betartását és a



traffic-engineering funkciókat, illetve az IP rétegben találhatóak a nagyszámú felhasználó számára közvetlenül értékesíthető alkalmazások. Az eltérő hálózati szerepkör mellett, az egyes rétegek számos funkciót rétegenként redundánsan is tartalmaznak (pl. védelemi funkciók) (3. ábra).

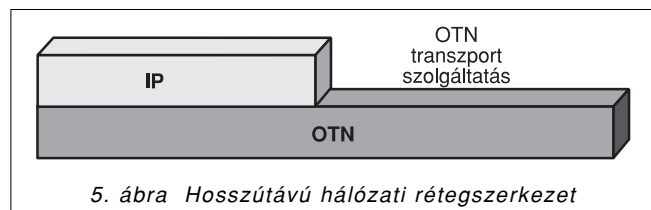
A hálózati szolgáltatók egyszerűsíteni kívánják a rétegszerkezetet, elkerülve a funkciók többszöröződését, csökkentve a hálózati eszközök számát és az ezzel járó költségeket, továbbá egyszerűsíteni kívánják a hálózat üzemeltetését egy közös felügyeleti réteg kialakításával.

Középtávon a rétegszerkezetet „laposabbá” igyekeznek tenni, szakítva a rétegek kliens-szerver viszonyával. Az egyszerűsített rétegszerkezet egy lehetséges megvalósítása lehet, amikor minden réteg közvetlenül az optikai transzportréteghez kapcsolódik. (4. ábra).



4. ábra Középtávú hálózati rétegszerkezet

Kialakulófélben vannak olyan elképzelések is, hogy elhagyva a többi klienst, az integráló szerepet IP réteg töltené be. Ennek szellemében alakult ki az ALL IP koncepció [ALL\_IP1], [ALL\_IP2], amely szerint kizárólagosan az IP réteg kapcsolódik az optikai transzport réteghez (5. ábra), ezért minden szolgáltatás ebben a rétegben lenne megvalósítva.



5. ábra Hosszútávú hálózati rétegszerkezet

A klasszikus OTN hálózatok fejlődését három jól elkülönülő követelmény motiválta. Az első fejlődési irányt a hálózatmenedzsment területén meglévő hiányossá-

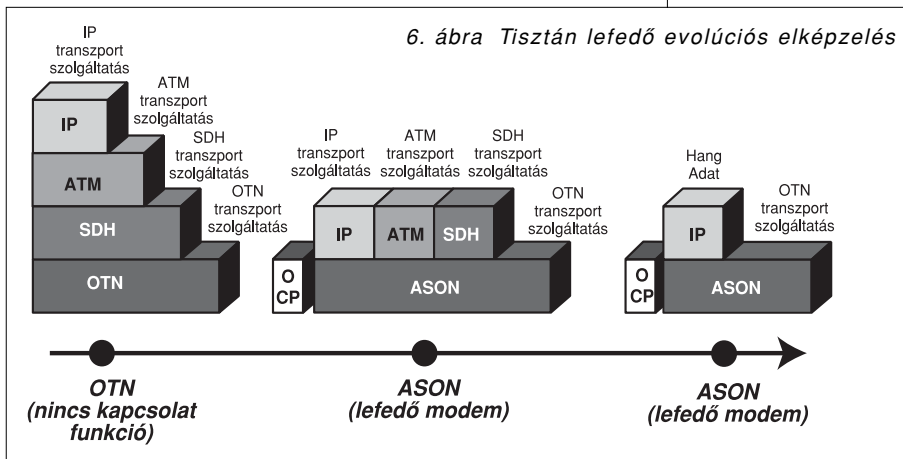
gok pótlása jelenti. A nagyszámú hálózatelemből álló rendszerek működtetése komoly nehézségekbe ütközik a fejlett, illetve automatizált felügyeleti folyamatok hiánya miatt. A második fejlődési irányt a forgalmak növekedésének általános trendje indukálta. Az IP világ közelmúltban végbemenő fejlődéséből származó megnövekedett forgalom jelentősen növelte a transzport-hálózatok terhelését is. Ugyanakkor a növekvő hálózati forgalom a jövedelmezőség csökkenését eredményezte, ezért előtérbe kerültek a gazdaságossági szempontok [Gla01]. Mivel a hálózati költségek jelentős hányadát az üzemeltetési költségek teszik ki, napjaink szolgáltatóinak fontos ezeknek a költségeknek a csökkentése. Az üzemeltetési költségek csökkentésének egy lehetséges módja az üzemeltetést automatikus vezérlési és menedzsment funkciókra felépíteni. A harmadik fejlődést motiváló követelmény az IP réteg egyeduralgódóvá válásának következménye. Az IP elosztott működése az optikai hálózatoktól is megköveteli az elosztott működést, vagyis a korábbi centralizált üzemeltetést (TMN) elosztott módon kell implementálni. Az IP és optikai réteg együttműködésének két jelentősen eltérő alternatívája alakult ki, az első a lefedő (overlay), a második az együttműködő (peer-to-peer) modell.

A lefedő hálózati modell egy kliens-szerver szolgáltatási struktúrán alapul. Az optikai transzportréteg elkülönül a vezérlési és a menedzsment rétegtől, feladata pont-pont összeköttetéseket létrehozni a megfelelő csomópontok között. Ha egy kliens összeköttetést kíván

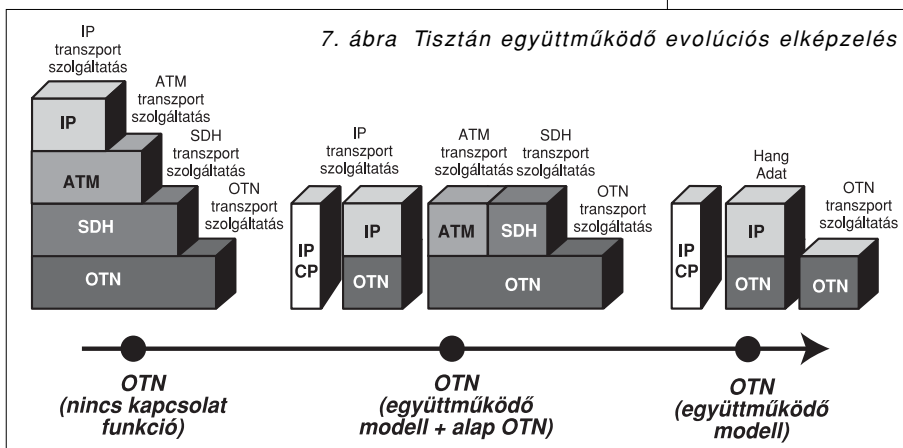
létrehozni két csomópont között, akkor az összeköttetés létrehozását a transzportréteg szolgáltatásként nyújtja neki. Ilyen esetben a kliensrétegnek semmiféle információra nincs szüksége az optikai réteg szerkezetéről.

A másik lehetséges modell az együttműködő (peer-to-peer) modell, melynél nincs klasszikus értelemben vett rétegszerkezet, hanem a kliensréteg (esetünkben az IP) közvetlenül vezérli az optikai transzportréteget, vagyis a kliensréteg vezérlési információi alapján épülnek fel és bomlanak le a kapcsolatokat. Mivel a kliensréteg vezérli az optikai réteget, számára elengedhetetlen, hogy ismerje annak szerkezetét és állapotát. E megoldás létjogosultsága az IP folyamatosan erősödő dominanciájával párhuzamosan egyre jelentősebb. Az IP és az optikai hálózatok együttműködésének fejlesztése érdekében alakult ki az Újgenerációs Hálózatok Kezdeményezés (Next Generation Networks Initiative) részeként az Újgenerációs Fotonikus Hálózatok (Next Generation Photonics Networks, NGPN) projekt. A projekt lényege, hogy azonosítsa az elkövetkezendő időszakban megépíteni kívánt távközlési hálózatokkal szemben támasztott követelményeket, elemezze és értékelje a lehetséges technológia és architektúrális megvalósításokat. Az NGPN lényeges célkitűzése az IP és az optikai hálózatok közötti protokollverem jelentős egyszerűsítése, amely célkitűzés megvalósításához jól illeszkedik az ASON együttműködő hálózatmodellje [Ngpn01].

A lefedő modellen alapuló evolúciós elgondolás szerint a hálózat hosszútávon is a hagyományos, de „lapos” rétegekből épülne fel (6. ábra).



A megoldás előnye, hogy ha az IP és az ASON rétegnek különböző szolgáltató a tulajdonosa, akkor az IP-t menedzselő szolgáltató képes közvetlenül együttműködni az optikai transzportréteggel. Mivel az ASON réteghez, illetve az optikai csatornákhöz közvetlenül hozzá lehet férni, ez a megközelítés megengedi, hogy a csatornaszintű összeköttetéseket igénylő felhasználók (ISP, ASP, SAN, NAS, másik szolgáltató, OVPN) közvetlenül igénybe vehessék az ASON optikai szintű szolgáltatásait.



A másik evolúciós elképzelés az együttműködő szerkezeten alapul (7. ábra). A tisztán együttműködő evolúciós elképzelést a már középtávon gyorsan növekvő Internet forgalom motiválta. Forgalombecslések szerint a jelzésrendszert nem igénylő forgalom (klasszikus OTN) az összes forgalomnak csak kis hányadát teszi ki, vagyis a forgalom nagy része az IP vezérlést felhasználva kerül a továbbításra.

## 4. Megoldások

### 4.1. Architektúra áttekintése

A kapcsolt optikai hálózatok fő alkalmazási területe a nagy megbízhatóságú, nagy sávszélességű pont-pont kapcsolatok kialakítása. Az így kialakított hálózatok topológiája jelentősen függ az adott szolgáltatási terület földrajzi, gazdasági, demográfiai tulajdonságaitól. Az ASON konfigurálási rugalmasságához leginkább a szövevényes hálózati topológia illeszkedik. A hálózat csomópontjai megvalósítási módtól függően lehetnek hullámhossz-konvertálásra képesek, korlátozottan képesek vagy egyáltalán nem képesek. A kereskedelemben kapható eszközök a hullámhossz-konverziót O/E/O (optikai/elektromos/optikai) átalakítás segítségével valósítják meg. Az O/E/O átalakítás során az elektronikus tartományban elengedhetetlen az adatfolyam keretezésének legalább részleges ismerete vagyis az adott megvalósítás kliensfüggő. A kliensfüggőség fejlesztési és üzemeltetési szempontból hosszabb távon hátrányos, de előnye a kisebb megvalósítási költség, valamint a hullámhossz-konverzióból adódó rugalmasság.

A tisztán konverziós csomópontokra épülő megoldás alkalmazása mellett, a két modell előnyeit egyesítő ésszerű kompromisszum lehet a konverziós csomópontokkal határolt transzparens szigetek kialakítása. Az eddigi szimulációs vizsgálatokból arra lehet következtetni, hogy a transzparens szigetek között elhelyezkedő konverziós pontok következtében lehetőség van az útszakaszonkénti rugalmas hullámhossz-választásra, a konverzió nélküli hálózatokban végponttól-végpontig megkövetelt hullámhossz-folytonosság kritériuma enyhül, csökkentve az erőforrás-szükségletét. Amennyiben a hálózatot felépítő csomópontok mindegyike kizárólag optikai tartományban dolgozza fel a jelfolyamokat, akkor tisztán optikai, más néven optikai értelemben transzparens hálózatról beszélhetünk. Annak ellenére, hogy az optikai jelkezelési technológiák felhasználásával már jelenleg is képesek vagyunk ilyen hálózatot kiépíteni, a magas költsége és az üzemeltetési problémái miatt üzleti szempontból jelenleg még nem jelent valós alternatívát [Trans01].

Az ASON architektúrális felépítése hasonló a korábbi optikai hálózatokéhoz, vagyis a hálózat fizikai rétegét /a transzportsík/ optikai átviteli rendszerek és optikai kapcsolók alkotják (transport plane) (lásd 1. ábra). Az átviteli eszközöket a transzportréteg tartalmazza, mely szállítási szolgáltatást nyújt a kliensrétegnek. A vezérlési sík (control plane) irányítja a transzportréteg hálózati elemeit és végzi el a végpontok között szükséges kapcsolatok felépítését. A hálózat menedzselése független a vezérlési síktól és szerepe csupán a hálózati elemek üzemállapotának felügyelete.

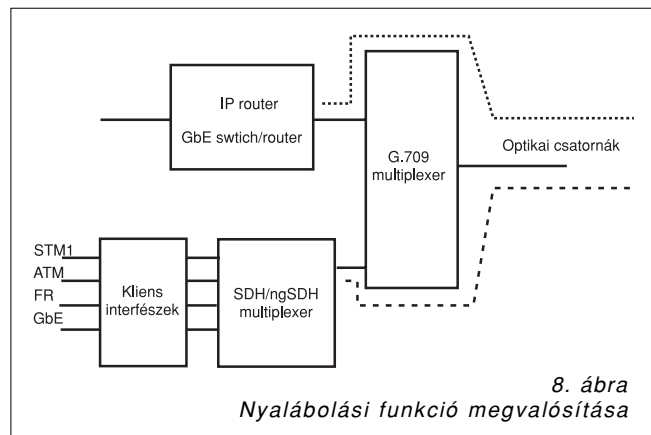
### 4.2. Nyalábolás

Az automatikusan kapcsolt optikai hálózatok kapcsolási alapegysége az optikai csatorna (OCh). Az optikai szintű kapcsolat megköveteli a kapcsolási egység-nél finomabb felbontású adatfolyamok nyalábolását. A

nyalábolási funkció megvalósítására a következő két lehetséges megoldás merült fel:

Az első esetben maga a nyalábolási funkció az ASON hálózat határoló csomópontjaiban kerül megvalósításra, vagyis a hálózatot felépítő OXC-khez közvetlenül kapcsolódnak a kliensek. Ekkor az eltérő technológiájú kliensek forgalmának azonos optikai csatornába nyalábolásához fel kell használni valamilyen konvergencia-réteg (GFP, ngSDH) nyalábolási funkcióját. A másik nyalábolási megvalósításnál maga az optikai csatorna szinten nyalábolt folyam lép be az ASON hálózat peremén, amit az egész hálózatban együttesen kell kezelni. A megfelelő irányultságok szétválasztása a nyalábolást elvégző csomópont feladata. Mivel az optikai csatorna felbontásban belépő igényeknek a hullámhossza már előre meghatározott, elengedhetetlen az ASON csomópontokban a hullámhossz-kiválasztási funkció megléte.

A két nyalábolási technika közös eleme, hogy maga a nyalábolás az ASON hálózat határán kívül helyezkedik el.



A 8. ábrán az SDH/ngSDH és az OTN-re (G.709) alapozott nyalábolási megvalósítás szerepel. Ebben az esetben az GbE és IP/POS kliensek adatforgalma már önmagában is optikai csatorna szinten aggregált, vagyis közvetlenül illeszthető az ASON hálózathoz. Más kisebb adatsebességű kliensek az SDH multiplexálási funkciójának felhasználásával érik el az optikai csatorna szintű aggregáltsági fokot.

Mind az IP router, mind a GbE (Gigabit Ethernet) switch csatlakozása az optikai réteghez különösen az ISP-k számára előnyös, mert a saját eszközeiket közvetlenül hozzá tudják kapcsolni a hálózati végberendezésekhez. A GbE a nagyvárosi hálózatok (MAN) kialakításában játszik kulcsfontosságú szerepet, ezért megfelelő támogatása alapvető követelmény.

Az ASON alapkonceptió kialakítása óta jelentős fejlődésen ment keresztül az SDH technológia is. Számos korábban nem létező funkció került implementálásra (GFP, Generic Framing Procedure, G.7041), Virtual Concatenation (G.707)- LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme, ITU-T G.7042), amelyek felhasználásával a kliensek szélesebb körében képes hatékonyan betölteni a nyaláboló technológia szerepét.

**4.3. Csomópontok szerkezete**

A következőkben az ASON hálózatot felépítő csomópontok belső szerkezetét tekintjük át. Három alapvetően eltérő csomóponti szerkezet került definiálásra az ASON szabványosítási folyamata során, mint lehetséges alternatíva:

- ha a csomóponti funkciók elektronikus tartományban vannak, akkor a csomópont nem transzparens a kliens rétegek számára (9. ábra)
- ha a funkciók egy része optikai, egy része elektronikus tartományban van, akkor a csomópont hibrid (10. ábra)
- ha funkciók az optikai tartományban vannak, akkor a csomópont transzparens (átlátszó) (11. ábra)

A transzparens csomópontok a rugalmas OXC helyett lehetnek kevésbé rugalmas OADM-ek (Optical Add Drop Multiplexer).

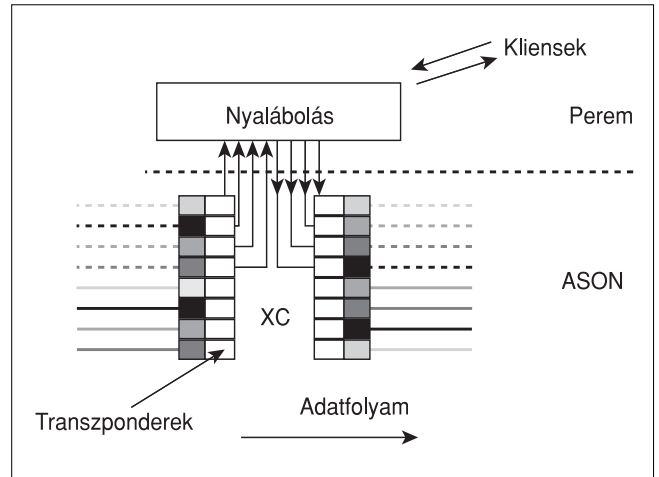
A tisztán elektronikus (nem-transzparens) csomópont be- és kimenetein egyaránt transzponderek találhatóak. A csomópont alkalmas arra, hogy a bemeneti csatlakozó összeköttetések egy részét elektronikus XC (Cross Connect) kapcsolás segítségével tranzitálja, másokat pedig ki- és be tudjon csatolni a hálózathoz. A ki- és becsatlakozás során a kliensek hozzá tudnak férni a megfelelő alacsonyabb rendű adatfolyamokhoz, ami a határoló csomópontoknál természetes követelmény. Ez a nyalábolási megvalósítás jól illeszkedik az SDH/ngSDH multiplexálási/demultiplexálási szerkezetéhez.

A hibrid csomópont egyaránt képes optikai értelemben transzparens módon, és O/E/O átalakítások felhasználásával is kezelni a rajta keresztül megvalósított összeköttetéseket. A csomópontból kiinduló vagy regenerálást igénylő tranzitforgalom a kimeneti portokon lévő transzpondereken keresztül lép ki, míg a regenerálást nem igénylő összeköttetéseket a csomópontban lévő OXC transzparens módon képes tranzitálni. Az optikai csatornák regenerálását vagy hullámhossz-konverzióját a bemeneti és kimeneti transzponderek végzik. A kimenőportok hangolható lézeres megvalósítása nagyfokú rugalmasságot biztosíthat a csomópontnak.

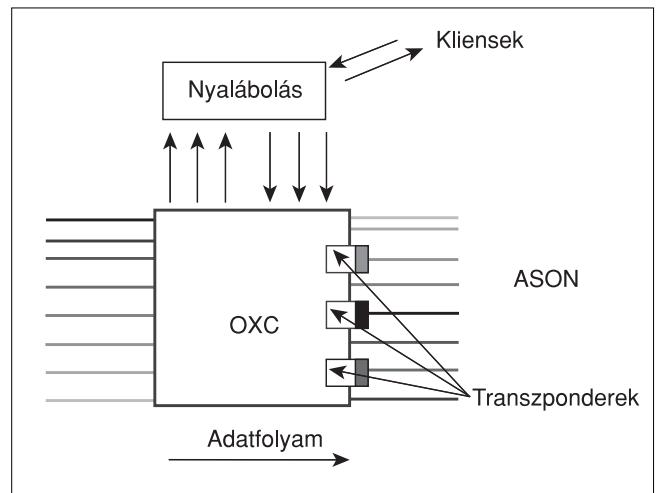
Az OADM (Optical Add Drop Multiplexer) csomópont képes az optikai tartományban a bemeneteinek egy részét kicsatolni, még másokat kapcsolni. A korai nem konfigurálható fix OADM-ektől eltérően, napjainkban már kaphatóak flexibilis, sőt már vezérelhető OADM-ek is. Ezekre az olcsó eszközökre alapozva a hálózatüzemeltetők képesek kellő rugalmasságú, akár XC funkcionális csomópontokat is kialakítani

A változó hálózati szerkezet erőforrásainak kihasználásához az útvonalválasztó algoritmusoknak ismerniük kell a hálózat aktuális állapotát. Az útvonalválasztások során alapvetően kétfajta információ szükséges, a csomópontok közötti linkek és a csomóponti erőforrások állapota. Az ASON vezérlési sík birtokolja a hálózat mind fizikai, mind logikai szerkezetét. Fizikai szerkezet alatt a csomópontok címét, a portok számát, sáv szélességet, Link ID-t, hullámhossz ID-t, kapcsoló és hullámhossz-konverziós képességet értjük. A logikai szerkezet

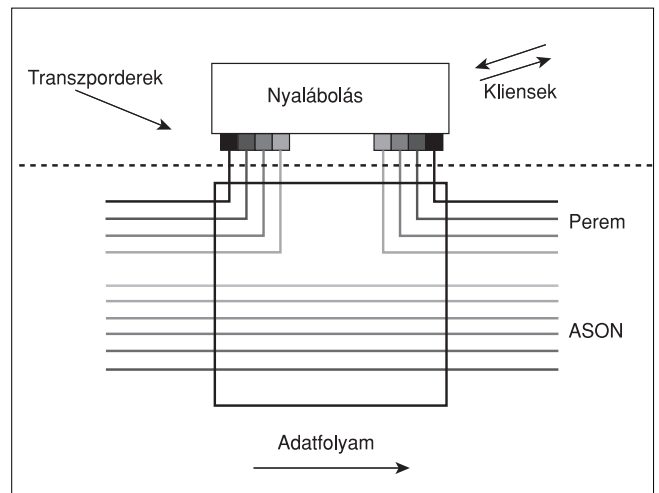
a végpont-végpont összeköttetéseket leíró információk (üzemi utak, védelmi utak), optikai virtuális magánhálózatok, valamint a forgalmi leírók (rendelkezésre álló sáv szélesség, QoS) összességét értjük. A topológia változásait felismerő mechanizmusokat a vezérlési réteg tartalmazza, felhasználva az OCC (Optical Connection Controller)-k funkcióit.



9. ábra Átlátszatlan csomópont szerkezete



10. ábra Hibrid csomópont szerkezete



11. ábra Transzparens csomópont szerkezete

#### 4.4. Transzportrétegbeli szolgáltatások

Most az ASON hálózat transzportrétege által nyújtott szolgáltatásokat tekintjük át. Az ASON technológia öt transzportrétegbeli szolgáltatást képes nyújtani:

A *permanens optikai csatorna (Permanent OCh)* szolgáltatás során az összeköttetést a hálózat két végpontja között garantálja a hálózat. Ennek legfontosabb tulajdonsága, hogy időben stabil, vagyis a szolgáltató és a felhasználó közötti szerződés szerint hosszútávra jön létre (pl. hónapokra). A kapcsolat felépítését, illetve az ehhez szükséges információk kezelését a hálózati operátor végzi el, ami történhet manuálisan vagy a menedzsmentrétegen keresztül. Ez a szolgálati osztály felel meg a permanens vagy béreltvonali összeköttetésnek. A szolgáltatás által megcélzott felhasználók lehetnek más hálózati operátorok vagy nagykapacitású béreltvonali összeköttetést igénylő szolgáltatók (ISP, ASP, SAN, NAS, mobil szolgáltatók, helyi telefontársaságok).

A *szoft-permanens optikai csatorna (Soft-permanent OCh) szolgáltatás* a permanens optikai csatorna szolgáltatástól csak a kapcsolat felépítésének módjában különbözik. Míg a permanens optikai csatornát a felhasználóval kötött szerződés alapján a szolgáltató részben vagy egészében manuális konfigurálás útján építi fel, addig a szoft-permanens kapcsolatot a szolgáltató a hálózat automatikus konfigurációs képességeire alapozottan a menedzsmentrendszeren keresztül, a vezérlési sík funkcióit felhasználva alakítja ki. A szoft-permanens optikai csatorna megvalósításához ennek érdekében megfelelő hálózat és csomópont közti interfész (Network-Node Interface – NNI) szükséges.

A *Automatikusan kapcsolt optikai csatorna szolgáltatás (Automatically switched OCh)* a hálózat két végpontja között jöhet létre. A kapcsolat felépítése és lebontása igény szerinti. A kapcsolat felépítését a felhasználó kezdeményezi a felhasználó és a hálózat közti interfészén (UNI) keresztül folyó jelzést váltás keretében, a hálózat és a felhasználó által kötött szolgáltatási szerződés alapján. Mivel az erőforrás-lefoglalás konkurens módon történik, a felhasználók versenyeznek a szabad erőforrásokért. Ha nincs elég szabad erőforrás egy adott kapcsolat felépítéséhez, akkor a kapcsolat blokkolódik, és a felhasználó kérése kiszolgáltatatlan marad. A felhasználó szempontjából fontos paraméter a blokkolt kérések aránya, a már felépült kapcsolatok útszintű fizikai paraméterei és a kapcsolatokat meghibásodás ellen védő védelmi mechanizmusok.

Az *optikai virtuális magánhálózati szolgáltatás (Optical Virtual Private Network – OVPN)* keretében a felhasználói csomópontok között egy külön logikai hálózat jön létre, amely a szabad erőforrásoknak a szoft-permanens optikai csatorna szolgáltatás mechanizmusaira alapozott alkalmas összekapcsolásával valósítható meg. A szolgáltatás azokat a nagyobb felhasználókat célozza meg, akik nem rendelkeznek kellő infrastruktúrával, ugyanakkor saját maguk szeretnék menedzselni a hálózatukat. Mivel a virtuális magánhálózatok erőforrásaival kizárólag a felhasználó rendelkezik, biztonsági szempontból kedvező ez a szolgáltatás. A meghibásodás

elleni védelem szempontjából, a kialakított OVPN védelme lehet a felhasználó önálló feladata, vagy a szolgáltatójával együttműködve közösen alakíthat ki védett összeköttetéseket.

Az *optikaicsatorna-nyaláb (Lambda Trunking)* szolgáltatás azonos minőségi paraméterű optikai csatornák egy egységbe foglalása. Az azonos minőségi paramétereket igénylő szolgáltatás érdekében a csatornákat azonos útvonalon, lehetőleg azonos optikai szálban jelölik ki. Mivel az egy egységbe foglalt optikai csatornákat együtt kezelik, meghibásodás esetén azonos védelmi útvonalakat igényelnek. A szolgáltatás alkalmas lehet olyan felhasználók kiszolgálására, akik nagykapacitású és azonos minőségű összeköttetéseket igényelnek (például mobilszolgáltatók).

#### 4.5. Hálózatvédelmi vonatkozások

A hálózati infrastruktúra meghibásodásakor a védelem első lépése a bekövetkezett hiba felismerése. Hálózati hiba lehet egy link kiesése, egy csomópont részleges vagy teljes meghibásodása, kiesése. A transzport hálózatokban három alapvető védelmi stratégia létezik: a hozzárendelt (dedikált) és megosztott védelem, valamint a helyreállítás. Hozzárendelt védelem esetén előre lefoglalt erőforrások tartoznak a tartalék elvezetésekhez, ezért egy hiba bekövetkezésekor a küldő és a vevő csomópont automatikusan átkapcsol erre a védelmi tartaléokra. Megosztott védelem esetén a hálózat védelemre lefoglalt erőforrásait, több előre meghatározott kapcsolathoz rendeljük hozzá. Csak azok az üzemi elvezetések osztozhatnak azonos védelmi erőforrásokon, amelyek nem lehetnek egyszerre érintettek egy hálózati elem meghibásodásakor. A harmadik lehetséges stratégia a helyreállítás. A helyreállítás alapvetően abban tér el a védelemtől, hogy a hálózat szabad kapacitásai nincsenek előre lefoglalva a védelmi célokra, hanem minden hibaeseménykor megkezdődik egy hibafüggő, dinamikus átkonfigurálása a hálózatnak. Az ASON vezérlési funkciói lehetővé teszik a gyors helyreállítás megvalósítását. Egy meghibásodás esetén a vezérlési réteg felhasználva az MPLS/GMPLS jelzési protokollokat, képes gyorsan meghatározni és felépíteni az új összeköttetéseket. A jelenlegi elképzelések szerint az alábbi helyreállítási mechanizmusok kerülnek megvalósításra:

- 1+1 dedikált útvédelem (minden üzemi elvezetéshez tartozik egy dedikált védelmi elvezetés),
- 1:n osztott útvédelem (n üzemi elvezetéshez tartozik egy védelmi elvezetés, az üzemi elvezetéseknek diszjunktaknak kell lenniük),
- n:m osztott útvédelem (m üzemi elvezetéshez n védelmi elvezetés tartozik),
- gyors helyreállítás előre megtervezett utakkal (Szoft-permanens OCh mechanizmus),
- helyreállítás hívás-újrafelépítéssel (meghibásodás esetén a kapcsolat lebomlik és újra felépül, Automatikusan kapcsolt OCh mechanizmus),
- pre-emptive védelem: nemvédett összeköttetés, az erőforrásait egy magasabb prioritású összeköttetés felhasználhatja meghibásodása esetén.

## 5. Funkciók, megvalósíthatóság (üzleti modellek)

A csomóponti funkciókat kétféle szempontból lehet csoportosítani. A hálózat logikai helye alapján tranzitálási- és végződtetési funkciókról, a funkcionális rétegszerkezet alapján transzport-, vezérlési és menedzselési funkciókról beszélhetünk.

A tranzitfunkciók a hálózat belsejében lévő optikai csatornák kezelésében játszanak szerepet. A végződtető csomópontok feladata kezelni a kívülről jövő kliensrétegek adatfolyamait, illetve a hálózat belső része felől jövő, itt kezdődő vagy végződő optikai csatornákat, illetve feladata az SLA-et (Service-Level Agreement, BER (Bit Error Rate), rendelkezésreállítás stb.) betartani és betartatni. Az ASON egyaránt támogatja az IP, GbE, ATM, FR, SDH/ngSDH klienseket. A kliensek kezeléséhez szükséges funkciókat az alábbi három kategóriába lehet sorolni:

Az *adaptációs funkciók* előkészítik a kliens adatfolyamokat a hálózat gerincrétegebe való továbbításához, aminek szükséges feltétele a QoS, CoS követelmények ellenőrzése. A hálózati erőforrások jobb kihasználtsága érdekében az azonos minőséget igénylő összeköttetések közös egységet alkotnak. Fontos kiemelni, hogy az adaptációs funkciók nem részei az ASON technológiának, de szorosan kapcsolódnak hozzá.

A *gerinchálózattal összefüggő funkciók* a végpont-végpont kapcsolatok felépítéséhez kapcsolódnak, mely során a felépítést a küldő perem csomópont kezdeményezi. Ezek a hálózati funkciók tartalmazzák a gerinchálózati részek közötti kommunikációhoz szükséges protollokat is.

A *fizikai interfésszel összefüggő funkciók* a hálózat-hoz kapcsolódó különböző kliensekhez szükséges interfészek kezelését végzi el, beleértve a keretezést, nyalábolást is.

Az ASON architektúra három funkcionálisan jól elkülönülő síkra bontható, a transzport-, vezérlési-, illetve a menedzsmentsíkra. A *transzportsík* biztosítja az egy- vagy kétirányú adatfolyamok számára az átviteli utakat és detektálja az összeköttetések állapotát leíró információkat (hiba, jelminőség stb.) A *vezérlési sík* feladata a felhasználó vagy a hálózatmenedzsment-rendszer által kezdeményezett kapcsolatok felépítésének és lebontásának támogatása. A vezérlési sík feladata lehet még, a meghibásodott összeköttetések újr felépítésének elősegítése a linkállapot információk (szomszédosság, rendelkezésre álló kapacitás, hiba) terjesztésével. A *menedzsmentsík* felelős a hiba, teljesítmény, konfiguráció, számlázási, és biztonsággal kapcsolatos menedzselési funkciókért, illetve ezeknek a funkcióknak a rendelkezésre bocsátása a vezérlési és transzportsík számára [Manz01].

A menedzsmentfunkciók megvalósítása lehet központosított vagy elosztott. A központosított megvalósítás előnye, hogy a hálózat aktuális állapotát leíró adatbázis (MIB- Management Information Database) egy-

etlen helyen van megvalósítva, elkerülve a szinkronizációból adódó problémákat, illetve a további funkciók fejlesztése egyetlen helyen kell, hogy megtörténjen. Hátránya a nagy komplexitás, a változások bejegyzésének nagy késleltetése, és az ebből következő nem valósidejű működés, illetve a meghibásodásokkal szembeni érzékenysége. Mivel az ASON célkitűzése szerint az elosztott működésű IP-re optimalizált, a centralizált menedzsment csak átmeneti megoldásként képzelhető el, az elosztott menedzsment bevezetéséig.

Az elosztott menedzsment lehetővé teszi a végpontokban elérhető menedzsment funkciók elosztott megvalósítását (beleértve a védelmi menedzsmentet is). Támogatja az együttműködést a kliensek menedzsment rendszereivel (UNI interfészen keresztül). Hátránya az adatbázis bonyolult karbantartása és az átviteli hibákkal szembeni érzékenysége (sebezhetősége).

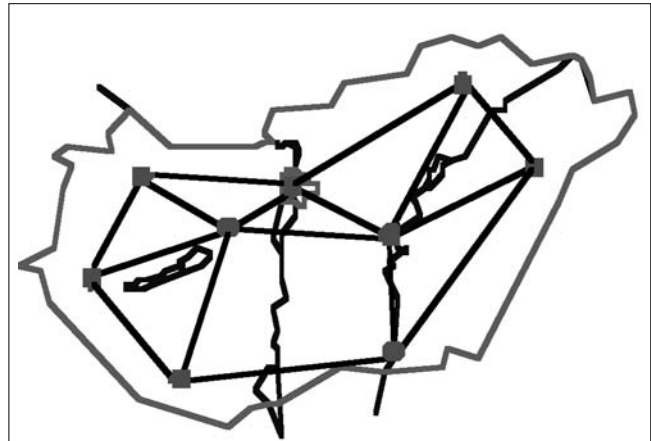
Mivel egy szolgáltatási területen egyszerre több szolgáltató hálózati infrastruktúrája található meg, elkerülhetlenné válik ezek együttműködése. Feltételezve, hogy az infrastruktúra különböző mértékben van egy szolgáltató birtokában, négyféle üzleti modell képzelhető el. Az első esetben a teljes transzportréteg egy szolgáltató tulajdona, és ezen nyújt szolgáltatásokat, ekkor a szolgáltatások kialakítása a transzportréteggel teljes összhangban történhet meg. Ez lehetővé teszi, hogy a szolgáltató saját infrastruktúrája felett többféle felhasználói hálózatot is megvalósíthatson. A második esetben a transzportréteg csak egy részét birtokolja a szolgáltató vagy együttműködik más szolgáltató transzportrétegével. Az együttműködő szolgáltatók egymástól bérlik a hálózati infrastruktúrát, ami a szolgáltatási rétegek kialakításakor közös megegyezést igényel. A transzportréteg több részből áll, és ezek együttműködése szükséges a hatékony erőforrás-kihasználáshoz. A harmadik esetben a szolgáltató egy hálózati rész teljes infrastruktúráját birtokolja és az ezen nyújtott szolgáltatásokat adja el viszonteladóknak. Ekkor a szolgáltató semmilyen információval nem rendelkezik a hálózatán kiszolgált ügyfelek forgalmának tulajdonságairól, ezért bizalmi kapcsolatnak kell fennállnia a szolgáltató és a viszonteladó között. A negyedik esetben a szolgáltató az általa birtokolt hálózaton nyújt szolgáltatást másikk szolgáltatóknak. A vevő szolgáltató szemszögéből a hálózati infrastruktúra egy kapcsolt transzportrétegnek felel meg, ekkor minden szolgáltató saját maga vezérli az igénybevett transzportréteget, ezért ez a vezérlési funkciók többszörözéséhez vezet.

## 6. Illusztratív esettanulmányok

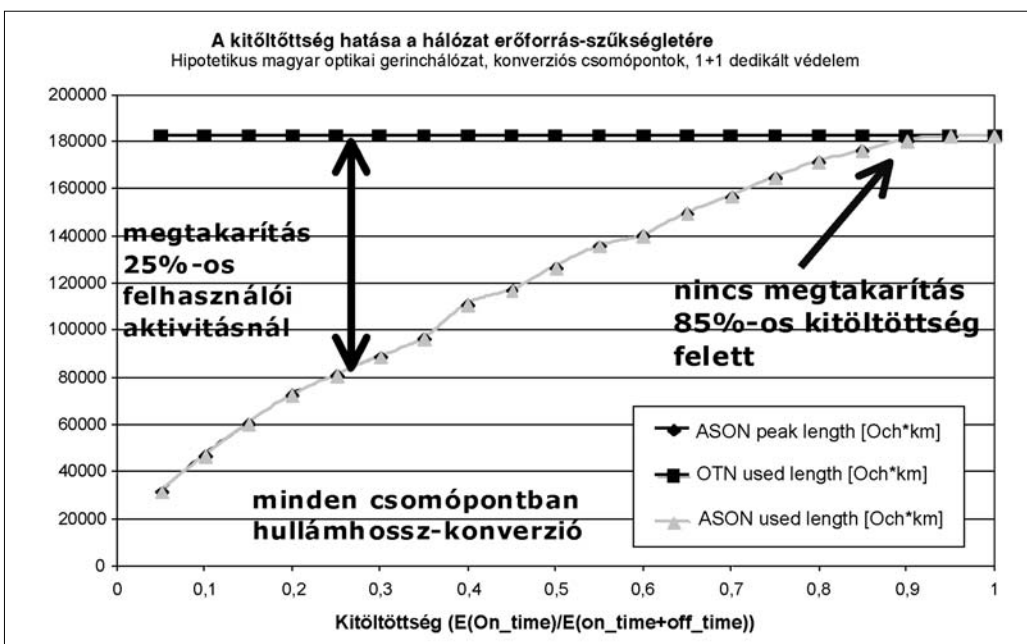
Az esettanulmányok tárgyalása előtt meg kell említeni, hogy a távközlés közelmúlt változásai miatt valamelyest megváltozott az ASON technológia szerepköre. A korábbi nagy dinamikájú automatikusan kapcsolt összeköttetésekre épülő hálózat létjogosultsága jelentősen csökkent az ilyen összeköttetéseket igénylő szolgáltatások hiánya miatt.

Ettől eltérően a távközlési szolgáltatók között zajló éles verseny miatt sokkal nagyobb jelentőséget kapott az ASON által nyújtott rugalmas és automatikus át-konfigurálás, amely segítségével csökkenthetőek a kiadások jelentős hányadát kitevő üzemeltetési költségek. Az intelligens optikai hálózat (ION) koncepciójében más vizsgálati módszereket igényel, mint a nagy dinamikájú ASON eset. Ebben az esetben a vizsgálatok középpontjában az úgynevezett "szolgáltatásnyújtás" (provisioning), vagyis az eltérő felhasználói igények minél hatékonyabb kiszolgálása áll. A felhasználói igények eltérősége jelenthet eltérő szolgáltatásminőséget, megbízhatóságot, alkalmazott védelmi stratégiát.

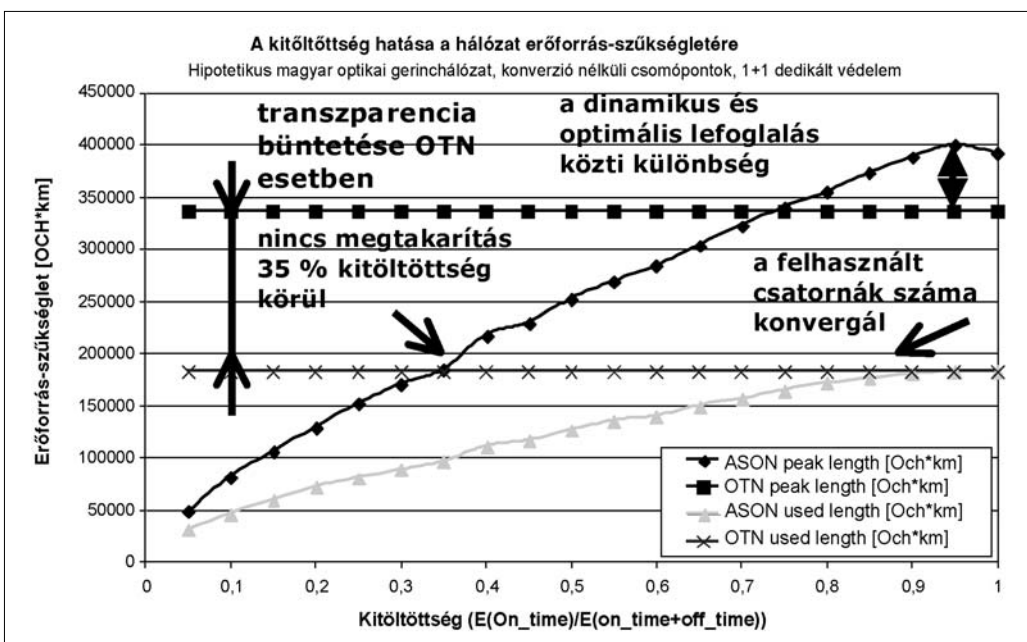
Az első esettanulmány a fejlett ASON automatikus kapcsolási képességgel és nagy dinamikájú összeköttetéseket feltételező hálózatra alapozott vizsgálatait mutatja be.



12. ábra  
Hipotetikus magyar optikai gerinchálózat (9 csomópont, 16 él)



13. ábra  
OTN és ASON erőforrás-szükségletének összehasonlítása védett, hullámhossz-konverziót tartalmazó hálózat esetén



14. ábra  
OTN és ASON erőforrás-szükségletének összehasonlítása védett, hullámhossz-konverziót nem tartalmazó hálózat esetén



A vizsgálat során a kapcsolt optikai hálózatok szimulációs eredményeinek elemzése a szemi-permanens (OTN) megvalósítások összehasonlításával történik. Az összehasonlítás alapját hálózati megvalósítások erőforrás-szükségletének meghatározása képi.

Az illusztratív példák alapjául egy hipotetikus magyar optikai gerinchálózat (9 csomópont, 16 él, átlagos foksám 3.5, igénymátrix összege 364 optikai csatorna) többféle megvalósítása szolgál (12. ábra).

A permanens összeköttetések függetlenül a forgalom meglététől, állandóan élnek. Ezzel szemben a kapcsolt hálózatban az igényforrás és nyelő között, csak a tényleges kommunikáció idejére épül fel a szükséges számú optikai csatorna.

A 13. és 14. ábrákon megfigyelhető, hogy kis kitöltöttség esetén az osztott erőforrás-kezelésből származó statisztikus nyereség miatt, minden esetben kisebb a kapcsolt megvalósítás erőforrás-szükséglete, mint a szemi-permanensé. A kitöltöttség növelésével a hullámhossz-konverziót tartalmazó hálózatban, a kapcsolt optikai hálózat erőforrásigénye az OTN-éhez konvergál, ugyanis egyhez közeli kitöltöttség mellett nem realizálható megtakarítás a dinamikus kapcsolat felépítésből. A hullámhossz-konverziót nem tartalmazó hálózatokban, a konverzió hiányából adódó többletköltség a kapcsolt megvalósításnál már 50%-os kitöltöttség esetén meghaladja az OTN erőforrás-szükségletét.

A megvalósításokat megvizsgálva nyilvánvalóvá vált, hogy a hullámhossz-konverziós képesség megléte vagy hiánya jelentősen befolyásolja a kapcsolásból adódó előnyök mértékét. A kereskedelemben kapható berendezések moduláris szerkezetéből következő hatás (több azonos hullámhossz egy átviteli rendszerben) a hullámhossz-konverzióhoz hasonló költségmegtakarítást eredményez. A szakirodalomban számos cikk foglalkozik ennek a hatásnak a vizsgálatával (pl. [Ling01]). Jelen cikk szerzői arra a következtetésre jutottak, hogy már kevés számú modul felhasználásával megközelíthető a hullámhossz-konverziót is alkalmazó hálózat teljesítménye.

A második esettanulmány az ASON technológia korai fázisának, az ION koncepció szolgáltatásnyújtási kérdéseit tárgyalja.

Az ASON hálózatok fejlett menedzsmentfunkcióira alapozva lehetségessé válik összetett védelmi stratégiák implementálása is. A második példában a kapcsolt hálózatokban kialakítható védelmi stratégiákat hasonlítjuk össze, vizsgálva azok hatékonyságát és erőforrás-szükségletét. A védelmi stratégiák teljesítményanalízise során kizárólag egyszeres szakaszhibákat tételezünk fel.

Az első megvizsgált védelmi stratégia a többleterőforrást fel nem használó, a kapcsolatok újrafelépítésén alapuló helyreállítás. A meghibásodás által érintett hívások lebomlanak és újra kezdeményezik a kiszolgálásukat. A megszakadt hívások újra-felépítése átmeneti túlterhelést okozhat a hálózatban, megnövelve a meghibásodott és kívülről jövő hívások blokkolási valószínűségét. Ez a helyreállítás nem igényel többleterőforrást, viszont nem garantálja a megszakadt optikai szintű összeköttetések újrafelépítését. Az optikaicsatornákérések közötti prioritás kezelésével a megszakadt hívások felépítése elősegíthető a kívülről jövő hívások hátrányára.

A második megvizsgált védelmi megoldás működési mechanizmusa megegyezik az újrakapcsoláson alapuló helyreállítással, azzal a különbséggel, hogy itt a hálózatban rendelkezésre állnak a védelemhez felhasználható többleterőforrások. A többleterőforrások felhasználásával kiküszöbölhető a meghibásodott optikaicsatornákérések újrafelépítésekor bekövetkező forgalmi túlterhelés.

A meghibásodásokra különösen érzékeny összeköttetések védelmére 1+1 dedikált útvédelmet célszerű kialakítani. A dedikált útvédelemmel ellátott összeköttetés felépítésekor két szakasz- és csomópont-független elvezetés kerül kialakításra és mind a két elvezetésen továbbítódik az átvinni kívánt információ. Meghibásodás esetén a nyelő csomópont egyszerű teljesítménymonitorozással képes észlelni a minőségi paraméterek leromlását és átváltani a meghibásodás által nem érintett kapcsolatra. A dedikált útvédelemnek előnye a gyorsasága és az egyszerű – lokális döntésen és beavatkozáson alapuló – működése, hátránya a helyreállítás-hoz viszonyított nagyobb erőforrásigénye. A kapcsolt optikai hálózatokban a dedikált útvédelem megvalósítható többleterőforrás felhasználása nélkül (kizárólag a két független út létrehozásához szükséges erőforrásokat felhasználva). Ekkor egy meghibásodás bekövetkeztekor, az aktuálisan élő kapcsolatok nem szenvednek minőségromlást, viszont az újonnan bejövő hívá-

A négy védelmi megvalósítás vizsgálatának eredményei [Tiv01]

Védelmi megoldás	Összes linkkapacitás	A maximális blokkolás mértéke fix vagy alternatív útvonalválasztással	A helyreállítás idejének nagyságrendje	A helyreállítás minősége
Helyreállítás többlet erőforrás nélkül	100,00%	0.07 / 0.014	Topológia felfedezés az útvonal irányító táblák frissítésével + hívásfelépítési idő	Nem garantált
Helyreállítás többlet erőforrással (az eredeti blokkolás visszaállítása)	149,64%	0.005	Topológia felfedezés az útvonal irányító táblák frissítésével + hívásfelépítési idő	Nem garantált
1+1 dedikált védelem többlet erőforrás nélkül	194,96%	0.11/0.1	Védelmi kapcsolás	Egyszeres hibánál garantált
1+1 dedikált erőforrással (az eredeti blokkolás visszaállítása)	258,99%	0.0012	Védelmi kapcsolás	Egyszeres hibánál garantált

sok nagyobb blokkolást fognak szenvedni a hálózat erőforrásainak csökkenése miatt. Amennyiben az új hívásoknak is alacsony blokkolási szintet szeretnénk biztosítani, akkor a két független elvezetéshez szükséges erőforrásokon kívül továbbiakat kell beépítenünk a hálózatba.

A kapcsolt optikai hálózatokban megvalósított védelmi mechanizmusok minőségi paramétereinek vizsgálatával kialakíthatóak a különböző szolgáltatási osztályoknak megfelelő védelmi osztályok, illetve megbecsülhetőek ezek erőforrás-szükséglete.

## 7. Végkövetkeztetés, konklúzió

A távközlési szolgáltatók – megtapasztalva az eddigi OTN megvalósítások problémáit –, olyan hálózati megoldásokat kívánnak kialakítani, amelyek alkalmasak a jelenlegi és jövőbeni igényeik megfelelőbb kiszolgálására. Az új hálózati koncepciónak a lehető legnagyobb mértékben a már meglévő megvalósításokhoz célszerű alkalmazkodnia, azok hálózati funkcióit maximálisan felhasználva. A kapcsolt optikai hálózat alapja egy hagyományos optikai transzport-hálózat, kiegészítve fejlett menedzsmentfunkciókkal, amelyek logikailag egy különálló menedzsmentréteget alkotnak. A fejlett menedzsmentfunkciók lehetővé teszik új transzportrétegbeli szolgáltatások megvalósítását, a gyors szolgáltatnyújtást, a hálózat változásainak automatikus észlelését, valamint a helyreállítás alapú védelmek menedzselését.

A bemutatott illusztratív példák, a szemi-permanens OTN hálózatokkal való összehasonlítás alapján, kívántak rávilágítani a kapcsolásból adódó előnyökre és hátrányokra, valamint a fejlett menedzsmentfunkcióknak a védelmi mechanizmusokban kihasználható lehetőségeire.

Mivel a kapcsolt optikai architektúra meg csak kialakulási fázisában van, számos tervezési és megvalósítási kérdés még megválaszolatlan. Számos jelenleg is folyó kutatási projekt célja ezeknek a kérdéseknek a megválaszolása. Megemlíthető, hogy 2002 októberében az IST-LION projekt keretében lezajlott az első működő ASON implementáció demonstrációja, amely jól tükrözi a koncepció jelenlegi megvalósítási állapotát [IST01].

### Köszönetnyilvánítás

Ezúton mondok köszönetet Dr. Lajtha Györgynek, aki a cikk elkészítését értékes észrevételeivel segítette, valamint az ASON tématerülettel foglalkozó EURESCOM P1012 FASHION projekt minden hazai és külföldi résztvevőjének (Swisscom, France Telecom R&D, Matáv, Telecom Italia Lab SpA, Telenor, OTE SA, Portugal Telecom Inovação), illetve a BME Híradástechnikai Tanszék munkatársainak, akik lehetővé tették számomra a projekt munkájába való bekapcsolódást.

### Irodalom

[Gla01] Dr. Andreas Gladisch (DT-Germany): Why do we need intelligence in optical networks? ASTN, GMPLS, ASON, "Intelligence in Optical Networks", Third Hungarian WDM Workshop, 8. April 2003. Budapest, Hungary

[Manz01] Antonio Manzalini, Katsuhiro Shimano, Carlo Cavazzoni, Alessandro D'Alessandro: Architecture and Functional Requirements of Control Planes for Automatic Switched Optical Networks: Experience of the IST Project LION, IEEE Communications Magazine, November 2002

[Eur01] EURESCOM P1012 FASHION project eredményei megtalálhatóak: <http://www.eurescom.de/public/projects/P1000-series/p1012/default.asp> WEB

[Ling01] L. Li and A. Somani: Blocking performance analysis of fixed-paths least-congestion routing in multifiber WDM networks. All optical networking 1999: architecture, control, and management issues, pp.56–67, Boston, MA 1999.

[Tiv01] T. Jakab, Zs. Lakatos: Protection and restoration based resilience in Automatic Switched Optical Networks, Proceedings of 10th International Telecommunications Strategy and Planning Symposium – NETWORKS 2002, München, Germany, June 2002, pp.459–467.

[ALL IP1] Antonio Rodrigues-Moral, Paul Bonenfant, and Murali Krishnaswamy: The Optical Internet: architectures and protocols for the global infrastructure of tomorrow. IEEE Communications Magazine, 39(7):152–159, 2001.

[ALL\_IP2] Paul Bonenfant, Antonio Rodriguez-Moral: Framing techniques for IP over fiber. IEEE Network, 15(4):12–18, 2001.

[Luc01] <http://www.lucent.com/press/0400/000417.nsb.html>

[Ngpn01] Next Generation Photonic Networks (NGPN), Deliverable, ([www.ngi.org](http://www.ngi.org))

[Trans01] B. Ramamurthy, S. Yaragorla, X. Yang: „Translucent Optical WDM Networks for the Next-Generation Backbone Networks,“ in the Proceedings of IEEE GLOBECOM 2001, San Antonio, TX, Nov. 2001.

[IST01] <http://www.ist-optimist.org>