

VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok  
2. Mobil adatszolgáltatások – IP és IP/MPLS a backhaulban:  
**Egy hálózatelemzési és hálózatméretezési  
esettanulmány az útvonalválasztásról:  
Budapest LTE IP/MPLS backhaul**

*Jakab Tivadar*

*Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék*

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

*I.B.123*



- Egy gyakorlatias (valós méretű és komplexitású) példa linkállapot alapú útvonalválasztó protokollok modellezéséről:

***Miért kell a hálózati hibák hatását figyelembe venni a linkek sávszélességének megválasztása során?***

- Néhány szükséges ismeret felfrissítése
  - Csomagkapcsolás, útvonalválasztás
  - OSPF IGP: Hogyan kerül az útvonalválasztó táblába a célcím-kimenő interface összerendelés
- A hálózati példa
  - Egy hipotetikus budapesti LTE mobilhálózat vezetékes IP/MPLS transzport-hálózata
  - Hogyan alakulnak az átlagos linkterhelések hibamentes esetben
  - Hogyan hatnak a hálózati hibák a linkek terhelési viszonyaira
  - Összegzés, tanulságok



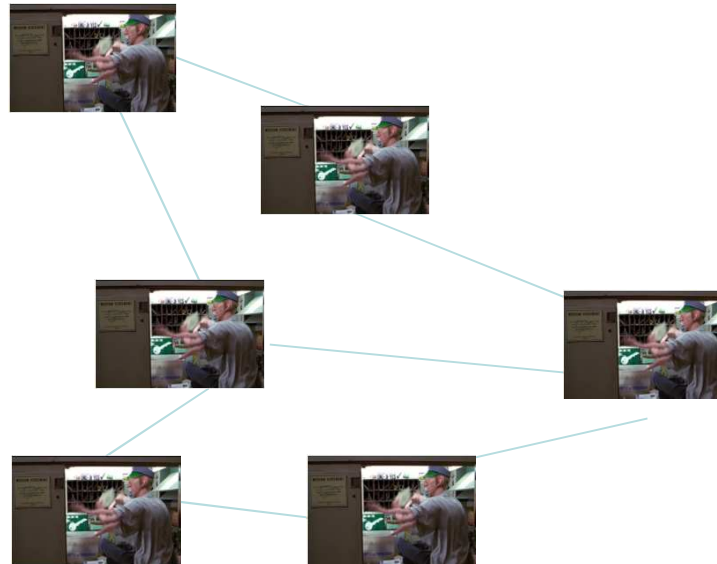
Video: bonus track link a tárgy honlapján

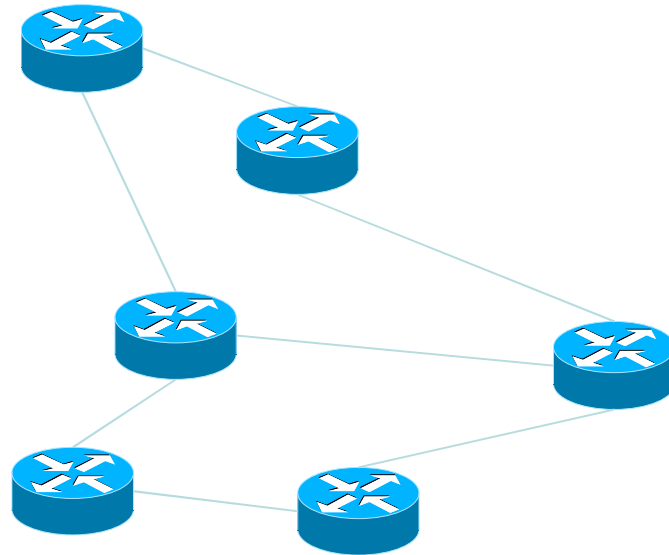
- Tárol és továbbít elv
- Minden útvonalválasztó (router)
  - megnézi a csomag célcímét, és
  - útvonalválasztó táblája alapján dönt a következő útszakaszról (= saját kimenő interfészéről)
- **Hogyan kerül az útvonalválasztó táblába a célcím-kimenő interface összerendelés?**



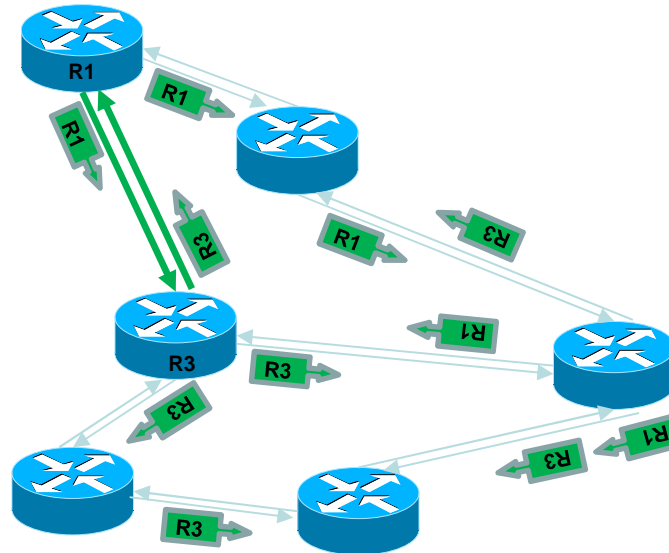
Men in Black II – Columbia Pictures, 2002

# Hogyan kerül az útvonalválasztó táblába?

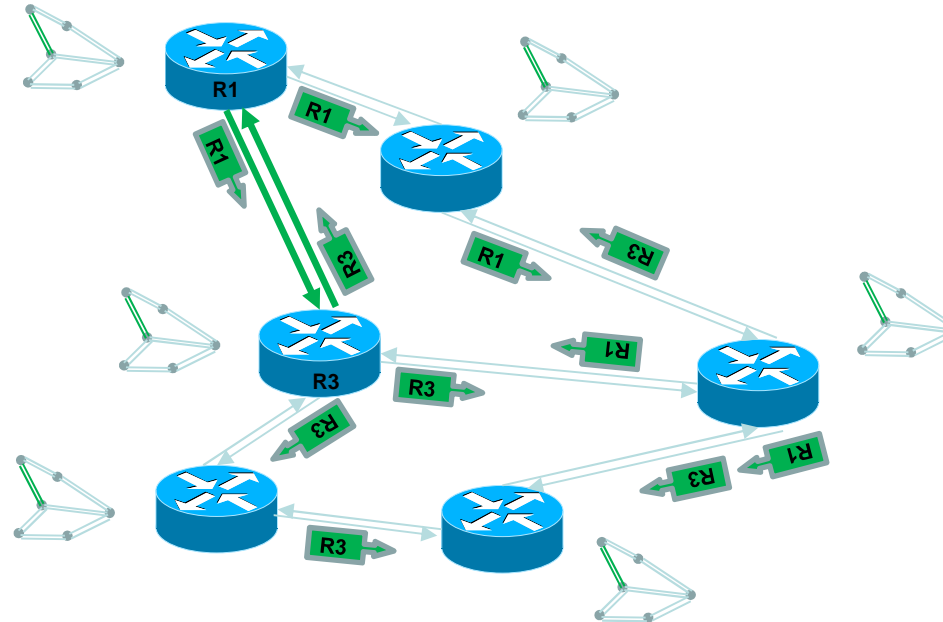




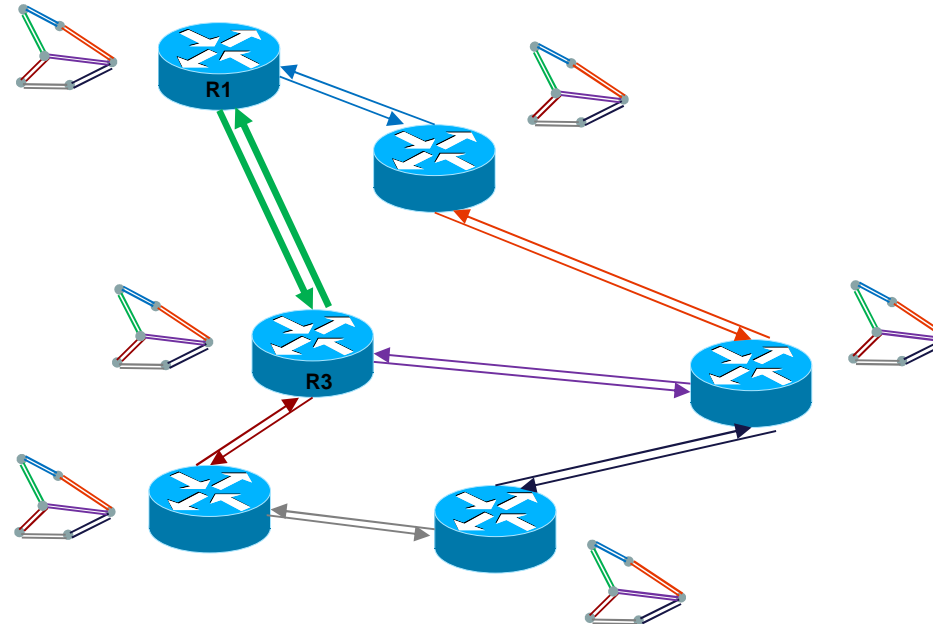
- Linkállapot alapú útvonalválasztó protokoll (pl. OSPFv2, RFC 2328)



- Linkállapot alapú útvonalválasztó protokoll (OSPFv2)
- Üzentekben: linkállapot, linksúly, elérhető címekre vonatkozó információk

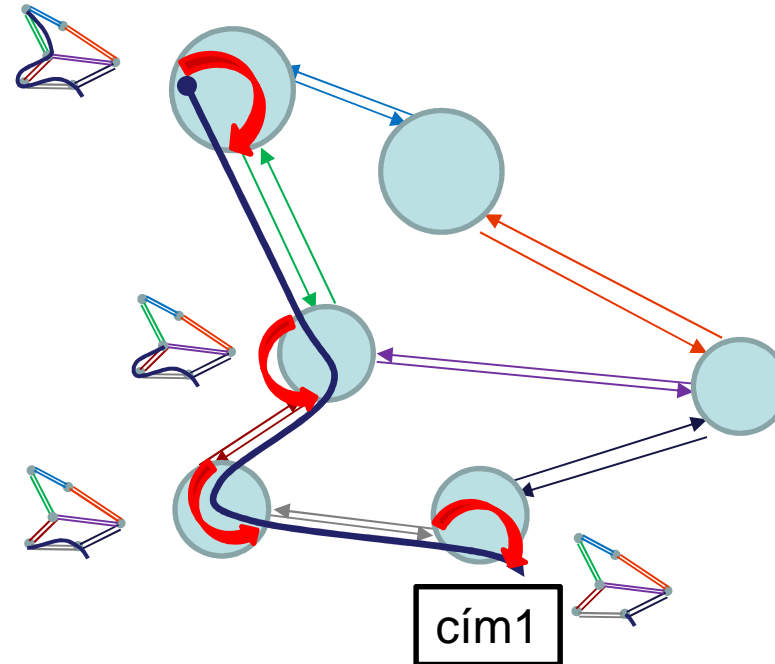


- Linkállapot alapú útvonalválasztó protokoll (OSPFv2)
- Üzentekben: linkállapot, linksúly, elérhető címekre vonatkozó információk
- Routerenként linkadatbázis: aktuális topológia

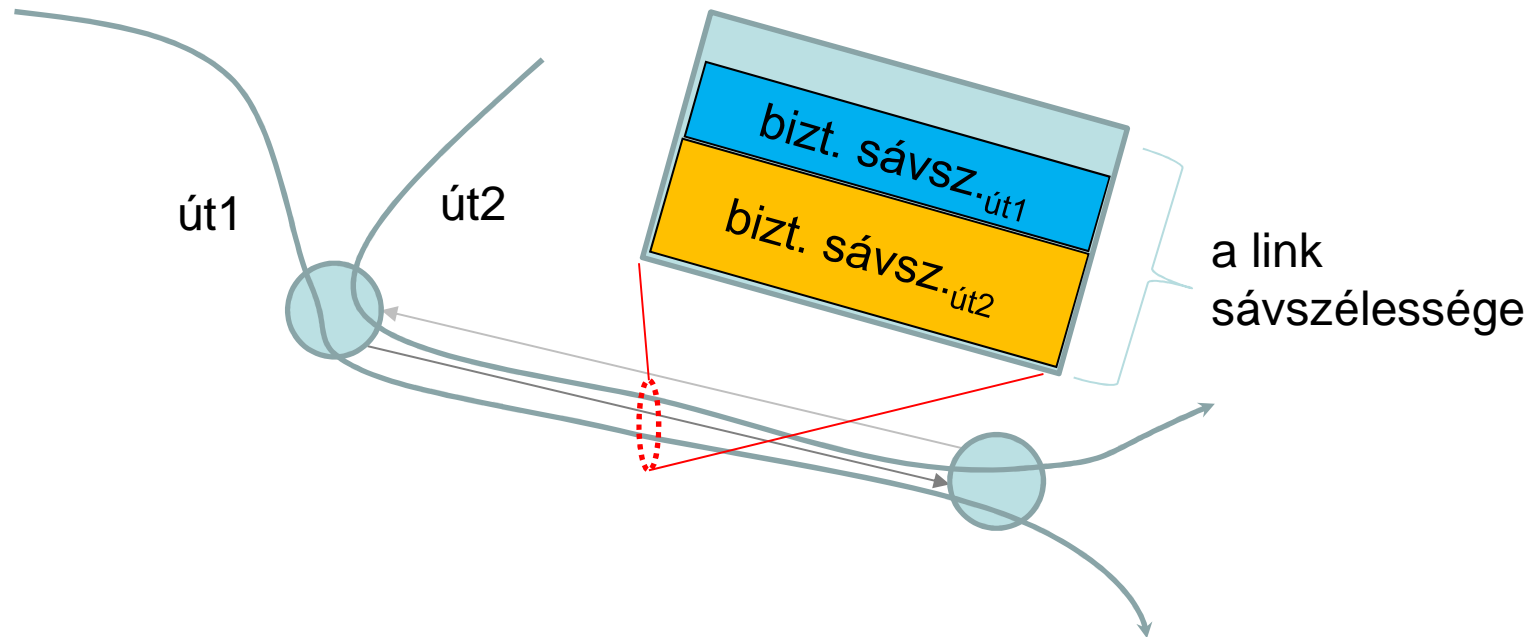


- Linkállapot alapú útvonalválasztó protokoll (OSPFv2)
- Üzentekben: linkállapot, linksúly, elérhető címekre vonatkozó információk
- Routerenként linkadatbázis: aktuális topológia
- Útvonalszámítás: Dijkstra
- Számolt útvonakal alapján következő szakasz egy adott cím (prefix) felé





- Linkállapot alapú útvonalválasztó protokoll (OSPFv2)
- Üzentekben: linkállapot, linksúly, elérhető címekre vonatkozó információk
- Routerenként linkadatbázis: aktuális topológia
- Útvonalszámítás: Dijkstra
- Számolt útvonakal alapján következő szakasz egy adott cím (prefix) felé



- A linken – adott irányban – továbbított forgalom összege
- Közelítő modell: átlagforgalom a legforgalmasabb időszakban
  - Biztosítandó sávzélesség (additív metrika)



- Hálózati gráf  $\mathcal{G}(V,E)$  egyszerű gráf
  - csomópontok  $V=\{v_i\}$ :  $v_i$  az  $i$ -edik pont
  - élek  $E=\{e_{i,j}\}$ :  $e_{i,j}$  az  $i$ -edik és  $j$ -edik pont közti él
- Biztosítandó sáv szélesség igények  $D=\{d_{s,t}\}$  az  $s$  forráspontra és a  $t$  nyelőpontra között biztosítandó sáv szélesség nagysága (additív metrika)
- Igény útja  $p_{s,t}=\{e_{s,i'} \dots e_{i,j'} \dots e_{j,t'}\}$  élsorozat, a  $d_{s,t}$  igény útja
- Az  $e_{i,j}$  link terhelése a linket tartalmazó igényutak igény nagyságainak összege  $l_{i,j}=\sum_{\forall e:e_{i,j}\in p_{s,t}} d_{s,t}$
- Meghibásodások (linkhibák) következtében előálló különböző hálózati állapotokban
  - a linkek egy része nem áll rendelkezésre, ezért egy igénynek eltérő útjai lehetnek,
  - a különböző hálózati állapotokban a linkterhelések is eltérhetnek a megváltozott utak miatt:  $l_{i,j}^{(f)}$  az  $e_{i,j}$  link terhelése az  $f$  hibaállapotban
  - egy link maximális terhelése  $F=\{f_k\}$  hibaállapotok,  $k=0$  a hibamentes hálózati állapot  $l_{i,j}^{(MAX)}=\max_{\forall f\in F} l_{i,j}^{(f)}$

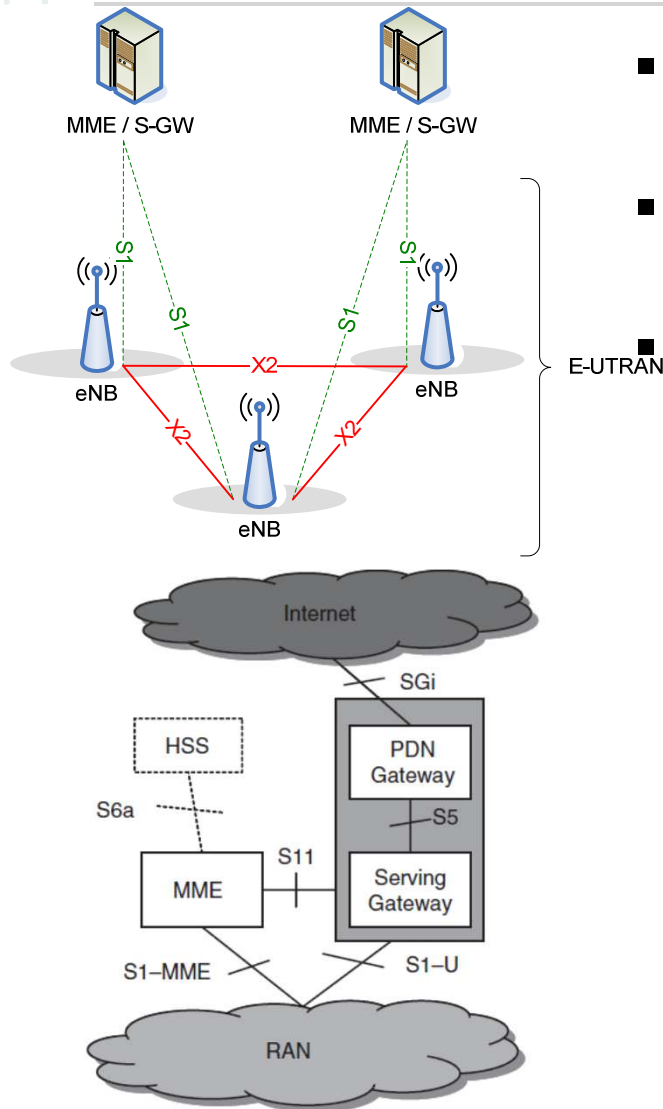


- Például egy valós méretű és komplexitású hálózat modellezésére:
  - Elemzési vagy tervezési célú linkterhelés számításra adott topológia és biztosítandó sávszélesség igények mellett
- Egy példa: Budapest teljes lefedése LTE mobil hálózattal, vezetékes csatlakoztatások
  - (eNodeB – )aggregációs pontok - LTE Core funkciók telephelye
- A megválaszolandó kérdések:
  - Hogyan alakulnak a linkterhelések?
  - Miért célszerű a hálózati hibák hatására is figyelni a linkek sávszélességének megválasztásakor?

*(Megjegyzés: Linkállapot alapú routing protokoll: hiba -> link kiesése -> megváltozott topológia -> (újraszámolt) megváltozott utak -> megváltozott linkterhelések.)*



- LTE Backhaul (csak az átviteli maghálózat, az eNodeB – hálózat összeköttetések nem)
- Valószerű budapesti példa(hipotetikus hálózat valós mérettel és komplexitással)
  - ~ 2 millió előfizető több mint 500 km<sup>2</sup>-es nagyvárosi területen
  - az LTE hálózat forgalma 23 aggregációs csomóponton csatlakozik a 11 csomópontos IP/MPLS átviteli maghálózathoz (IP-hez hasonló működés, de címke alapú továbbítás)
  - az IP/MPLS logikai topológia kialakítása intuitív
  - az IP/MPLS PE és P routererek közvetlenül kapcsolódnak egymáshoz sötét optikai szálakon pont-pont optikai jelfolyamokkal (e/o és o/e: XFP, CFP)
  - címkealapú forgalomtovábbítás az IGP (OSPF) alapján

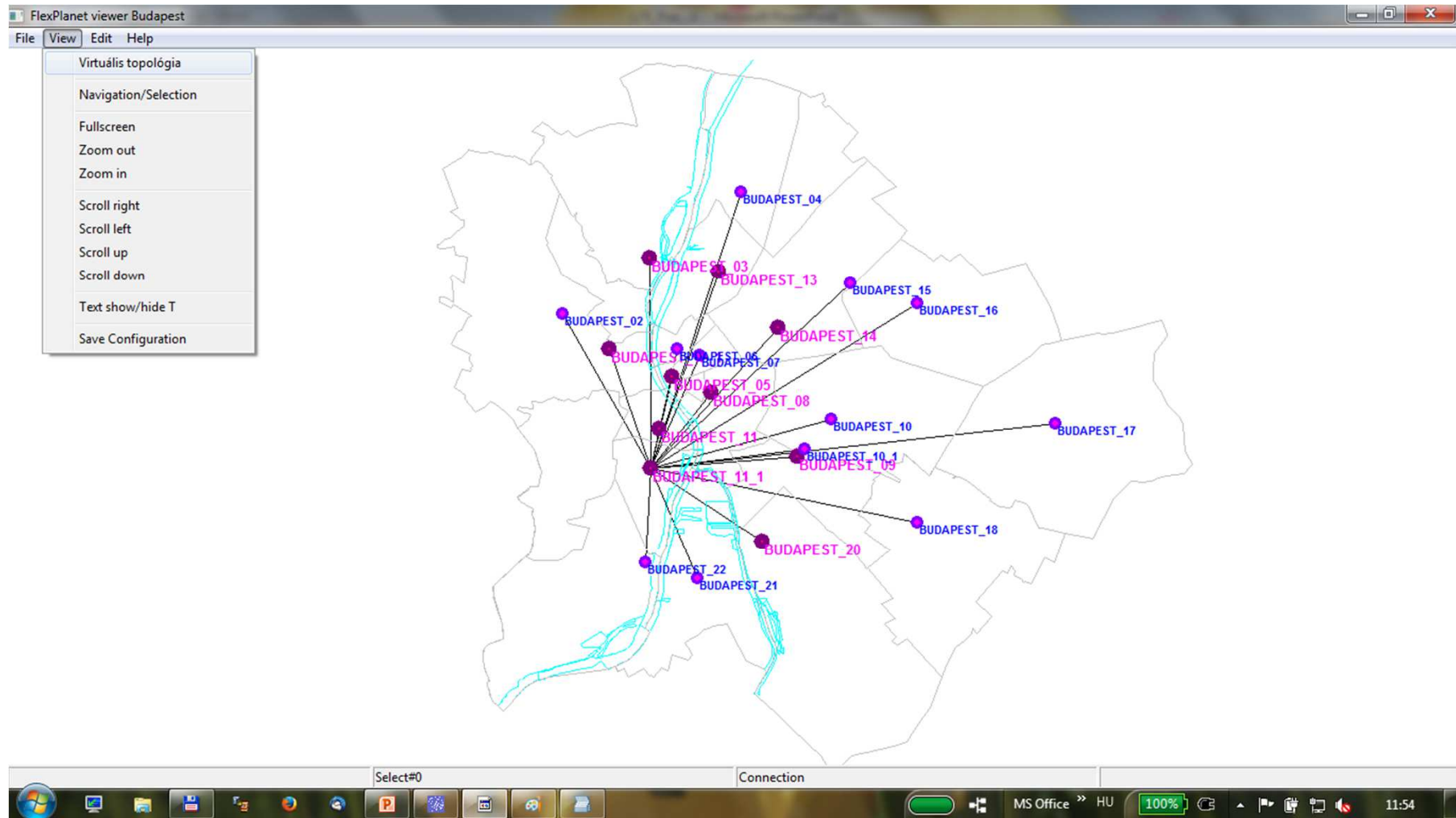


- Az LTE Core funkciói egyetlen hálózati helyszínen

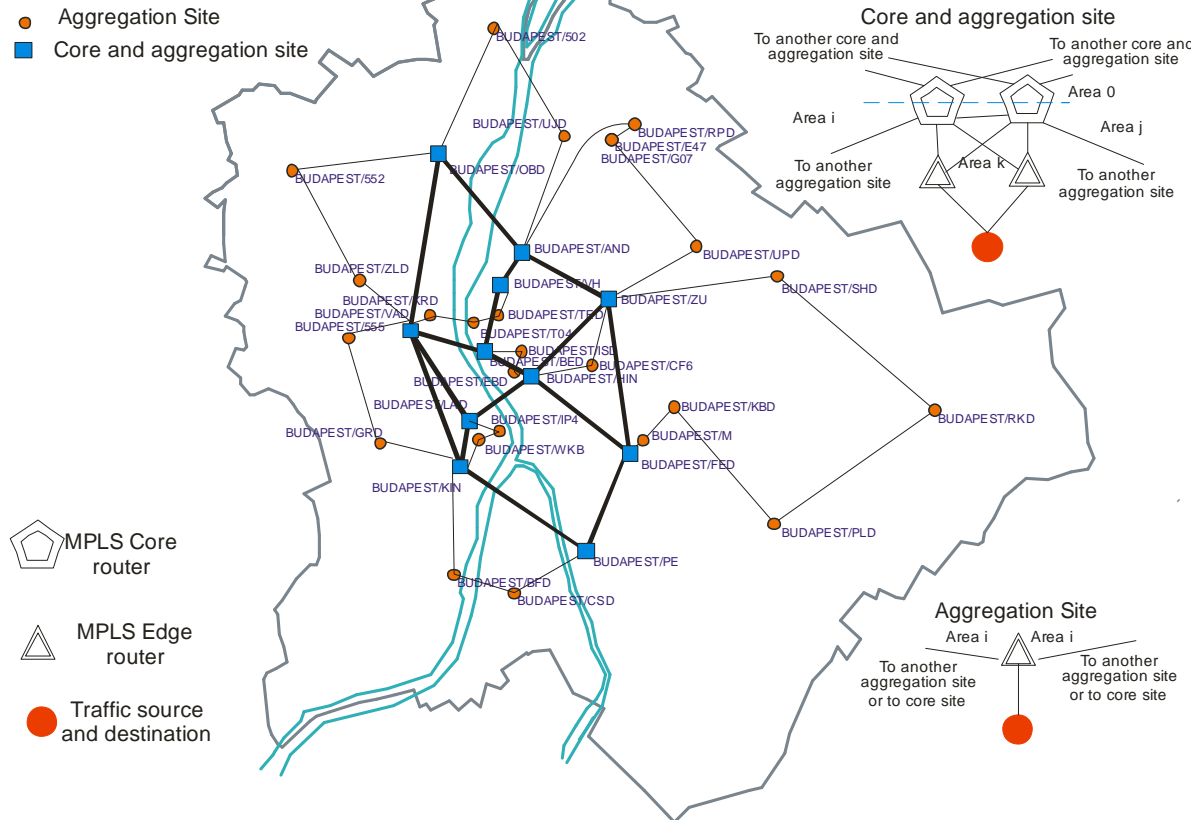
- A forgalom az eNodeB-k felől és az eNodeB-k felé is itt végződik/indul

- **Forgalombecslés:**

- Előfizető aránya: 90%
- Upload sávszélesség előfizetőnként: 1 [Mbps]
- Download sávszélesség előfizetőnként: 2 [Mbps]
- Statisztikus multiplexálási nyereség: 80%



## Budapest IP/MPLS Network Model

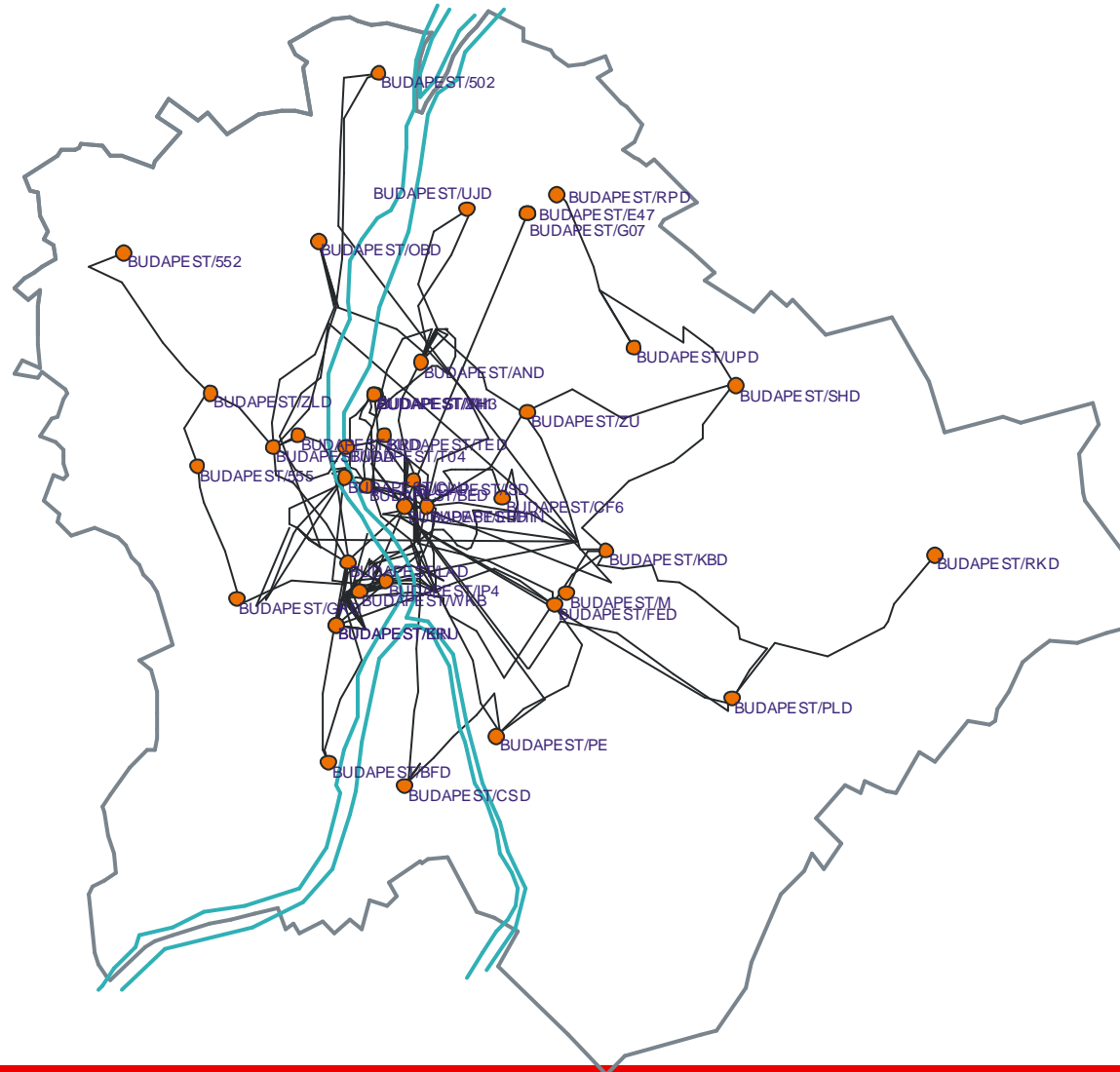


## OSPF konfiguráció

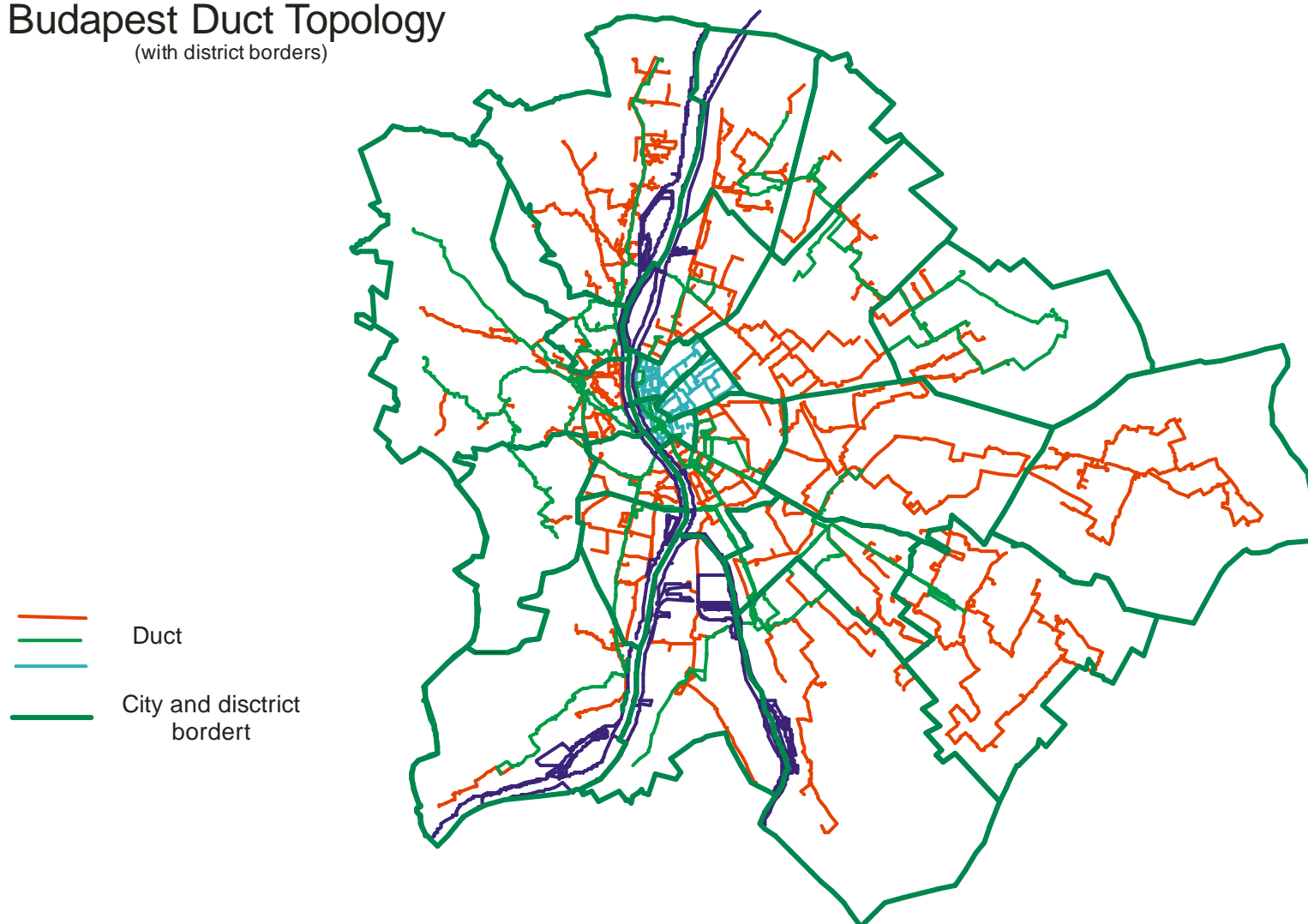
- Area 0: maghálózat
- Külön areak: felhordó hálózati szegmensek
- További külön areak: telephelyen belüli hálózatrészek
- Linksúlyok:
  - maghálózat: 1
  - felhordás: 10

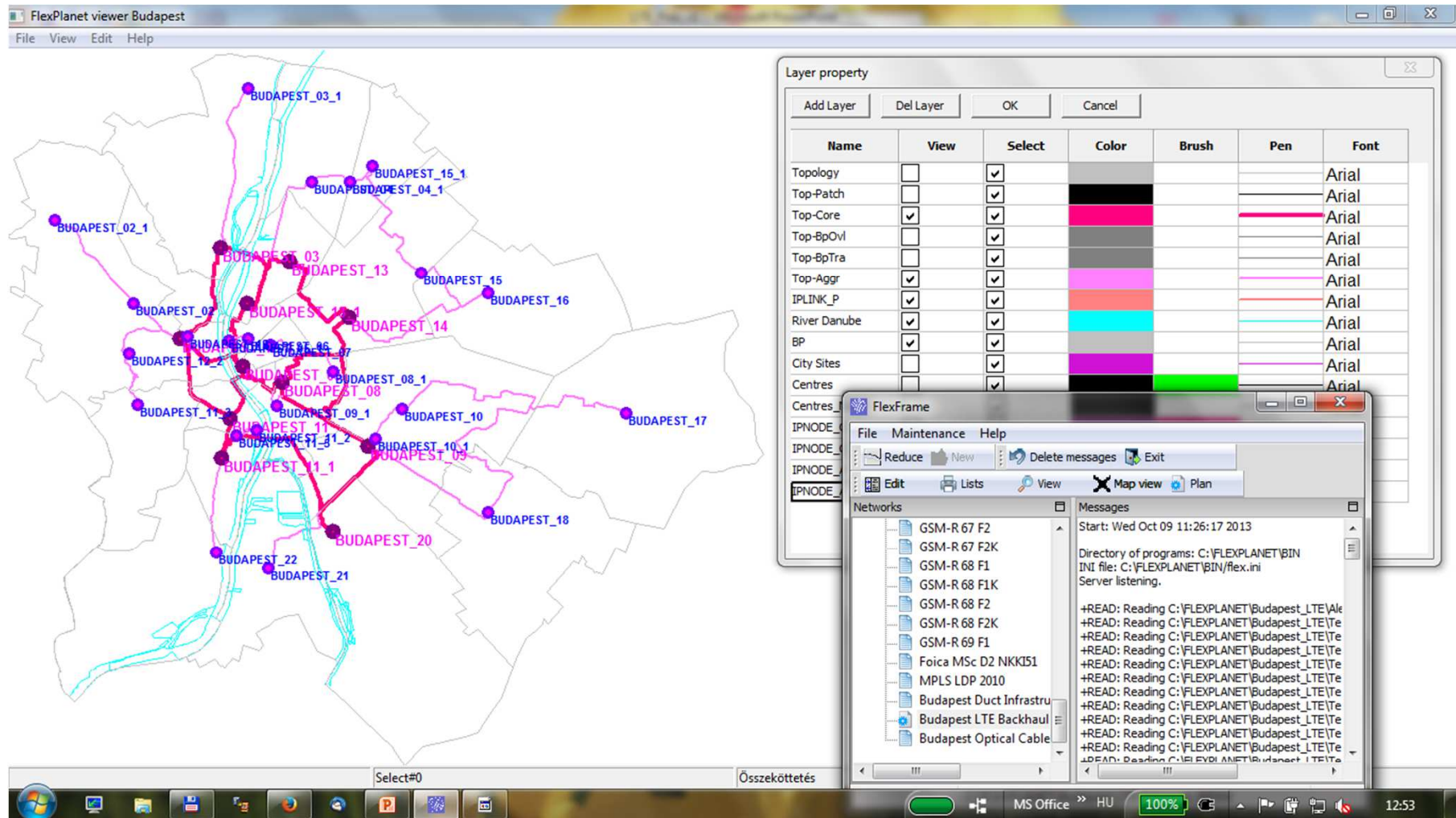


## Budapest Optical Cable Topology



Budapest Duct Topology  
(with district borders)





The screenshot displays the FlexPlanet viewer interface for Budapest. The main map shows a network topology with nodes labeled BUDAPEST\_01 through BUDAPEST\_22. The network is overlaid on a map of Budapest, with the Danube River (River Danube) shown in cyan. The network layers are color-coded: Top-Core (magenta), Top-BpOvl (grey), Top-BpTra (grey), Top-Aggr (magenta), IPLINK\_P (red), River Danube (cyan), BP (cyan), City Sites (magenta), and Centres (green).

The Layer property dialog is open, showing the following table:

Name	View	Select	Color	Brush	Pen	Font
Topology	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-Patch	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-Core	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-BpOvl	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-BpTra	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-Aggr	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
IPLINK_P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
River Danube	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
BP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
City Sites	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Centres	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial

The FlexFrame window is also open, showing a list of networks and messages. The Networks list includes:

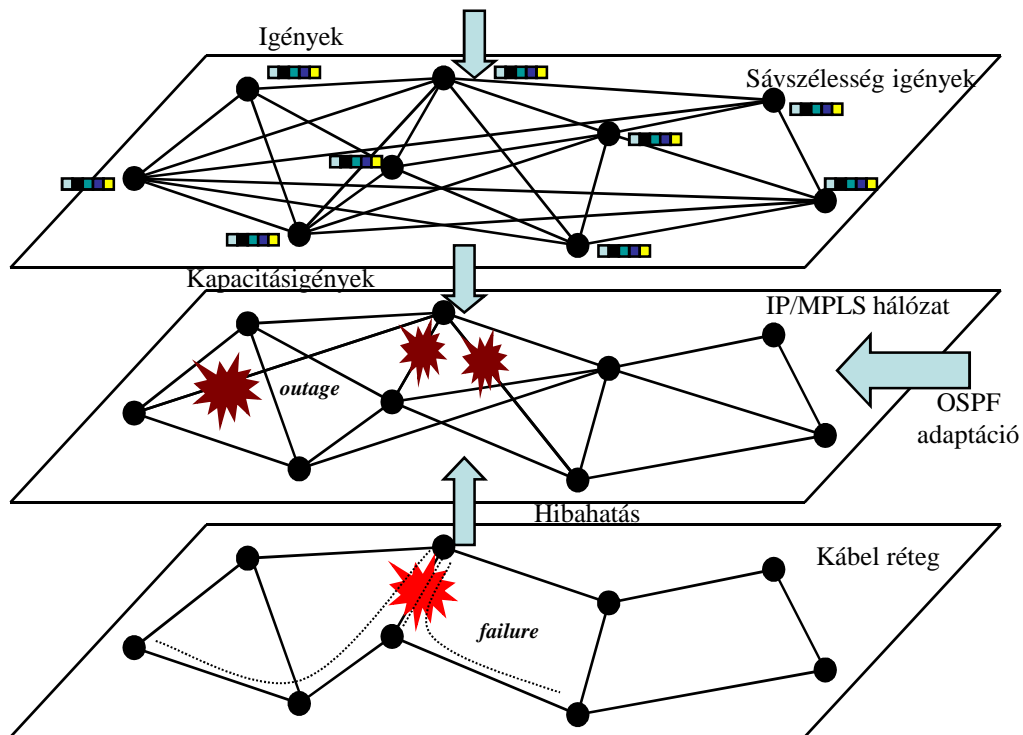
- GSM-R 67 F2
- GSM-R 67 F2K
- GSM-R 68 F1
- GSM-R 68 F1K
- GSM-R 68 F2
- GSM-R 68 F2K
- GSM-R 69 F1
- Foica MSc D2 NKKI51
- MPLS LDP 2010
- Budapest Duct Infrastru
- Budapest LTE Backhaul
- Budapest Optical Cable

The Messages window shows the following text:

```
Start: Wed Oct 09 11:26:17 2013
Directory of programs: C:\FLEXPLANET\BIN
INI file: C:\FLEXPLANET\BIN\flex.ini
Server listening.
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Wk
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
```

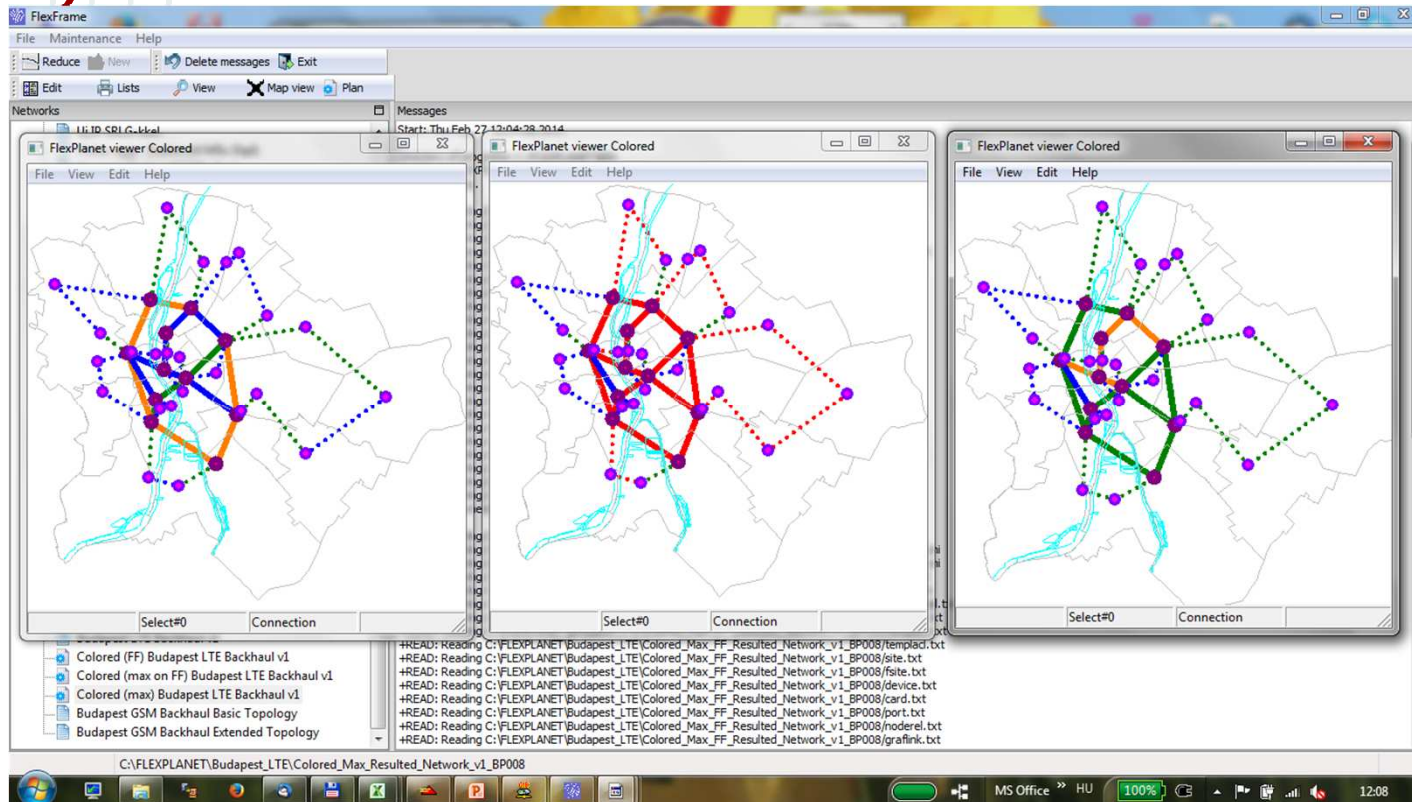


- Linkterhelések a hibamentes hálózati állapotban
- Maximális linkterhelések a különböző egyszeres kábelhiba (eredményezhet többszörös IP/MPLS linkhibát is) állapotok alapján
- Linkkapacitások megválasztása a különbözőterhelési viszonyok alapján
- Linkek terheltsége (terhelés/kapacitás)
  - üres link (=0)
  - kevésbé kihasznált link (<30%)
  - jól kihasznált link (30% ... 80%)
  - túlterhelt link (> 80%)



- A hibahatások terjedése (a fizikai rétegektől a logikai rétegek irányába)
- Az adaptáció mérsékelheti a hiba hatását
- A hibák hatással lehetnek a szolgáltatások folytonosságára és az erőforrások terhelési viszonyaira

# Linkek terhelése és kapacitása



Jelölések a linkterhelés és linkkapacitás viszonyokra (terhelés/kapacitás)

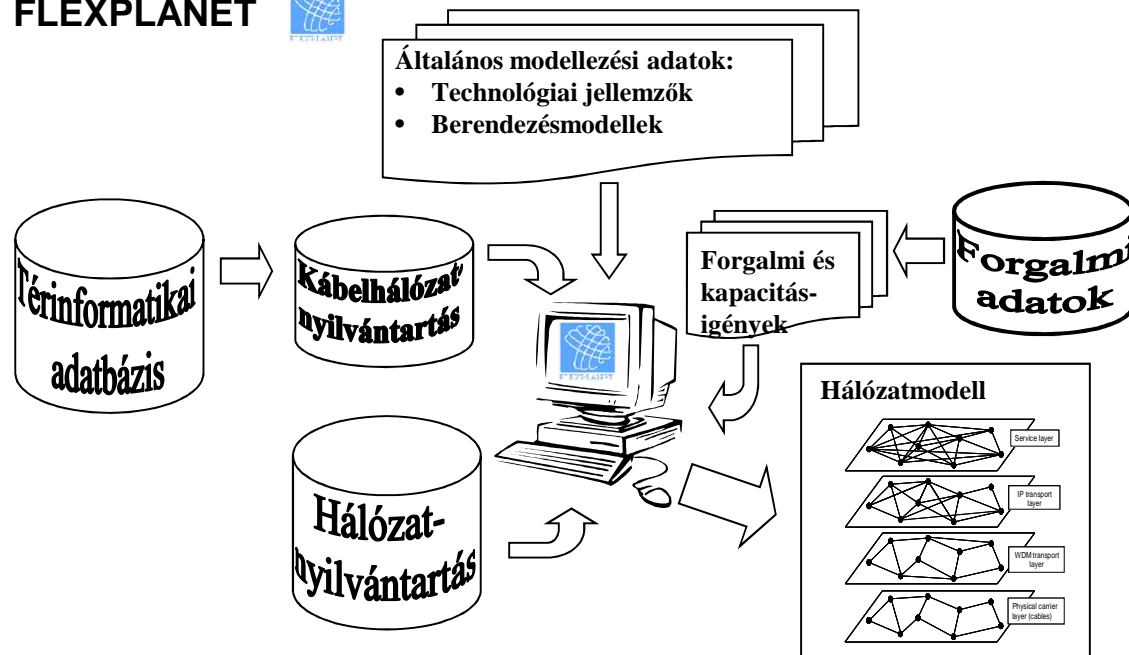
- = 0, **kék**, üres link,
- < 30%, **sárga**, alacsony terhelés
- zöld**: megfelelő terhelés (30% .. 80%)
- > 80%, **piros**, túl nagy terhelés

- Három eset
- Balra: a hibamentes hálózati terhelések és az azoknak megfelelően, a túl nagy terhelést elkerülendő választott linkkapacitások
- Középen: egyszeres kábelhibák hatása alapján számolt terhelések a hibamentes terhelés alapján meghatározott kapacitásokon
- Jobbra: módosított linkkapacitások az egyszeres kábelhibák hatására kialakuló terhelések megfelelő (túlterhelés nélküli) kiszolgálásához



- Topológiai vonatkozások
  - A kábeltopológia kétszeres összefüggőségének hiánya bizonyos telephelyek leszakadását eredményezheti már egyszeres kábelhibák esetén is.
  - Az egyszeres kábelhibák figyelembevételével sem terhelt (üres) IP/MPLS linkek szüségtelenek a hálózatban.
- A számított linkterhelések alapján a linkek nagy részének megvalósításához 100 Gbps sávszélesség szükséges.
- Az egyszeres kábelhibák esetén az OSPF adaptáció a terhelési viszonyok lényeges változását eredményezheti, egyes linkek többletterhelése egy nagyságrenddel nagyobb lehet a hibamentes állapotban fennálló terhelésénél.
- A jó minőségű (csomagvesztés és jelentősebb késleltetés ingadozás nélküli) transzporthoz a linkek sávszélességét az egyszeres kábelhibák hatásának figyelembevételével célszerű megválasztani.

FLEXPLANET

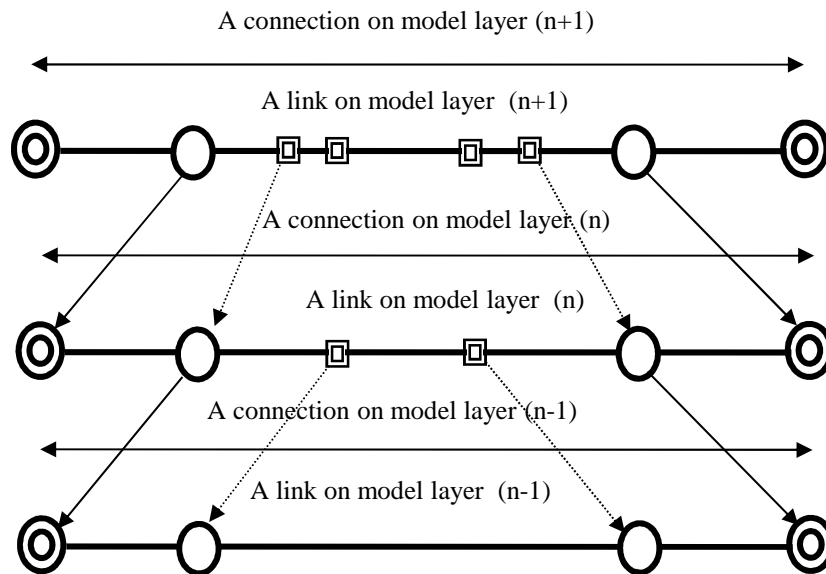


- Hálózattervező és – elemző szoftvercsomag
- BME HIT fejlesztés,
- Hálózat-nyilvántartással és hálózat-felderítéssel integrálható modellépítés
- Számos gyakorlati alkalmazás (SDH, IP, WDM, IP/MPLS, CET)
  - Magyar Telekom
  - MVM Net
  - KoopInt NKKI
  - NISZ NKG
  - MÁV GSM-R
- Hallgatók bekapcsolódása
  - TDK, önálló labor, szakdolgozat, diplomaterv, PhD
  - projekt munkák

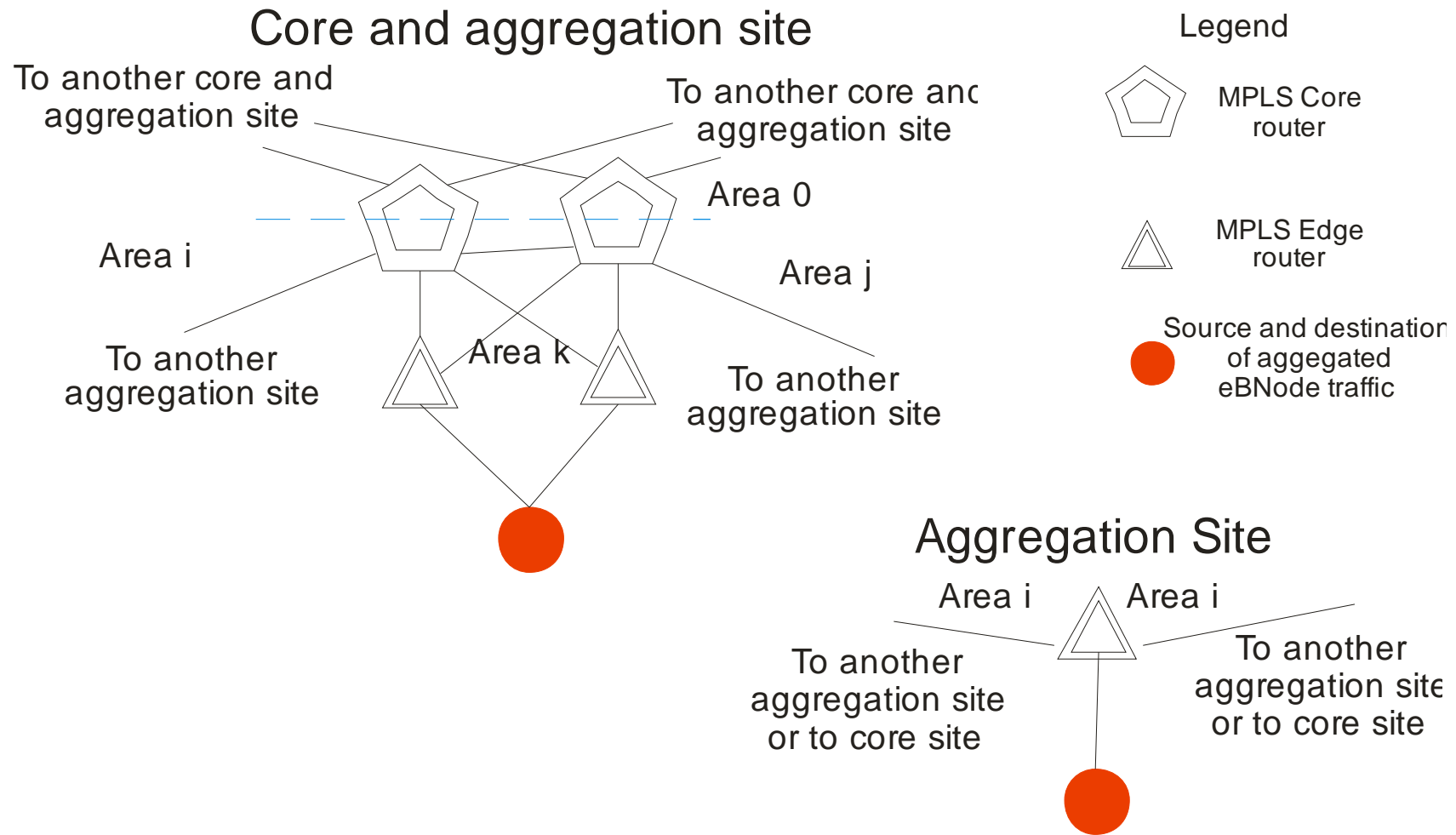


---

# TARTALÉKOK



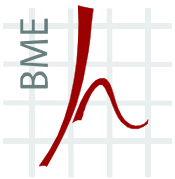
- Layers are in client-server relations:
  - A client connection of model layer (n+1) is realized via a route (i.e. sequence of consecutive links) of the related server layer represented by model layer (n)
  - Links of the server layer referred above are clients of the layer providing services for it, and each can be considered as a client connection to be served on model layer (n-1)
- The layered approach provides a technology independent modelling approach, and thus a unified framework to model heterogeneous transport networks built of several co-operating technologies



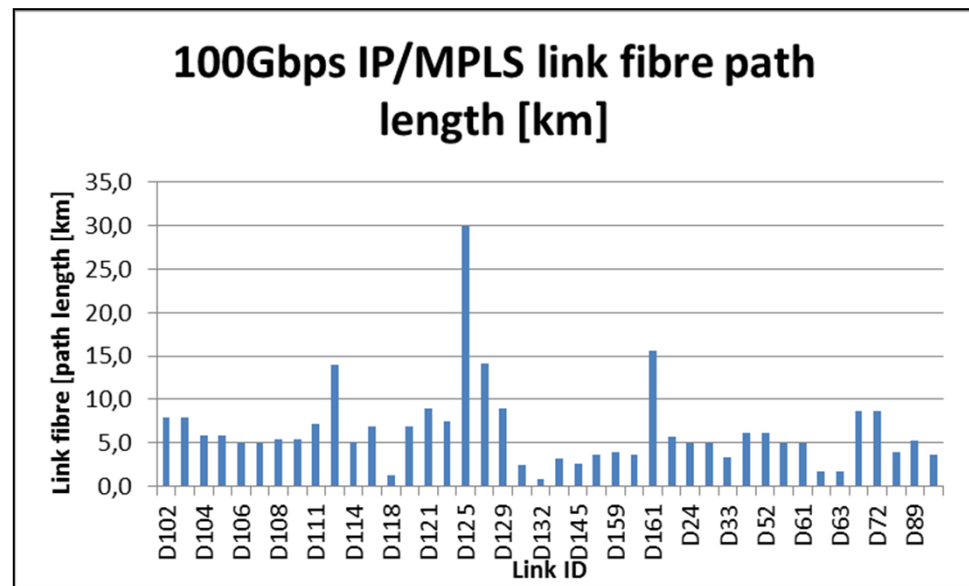
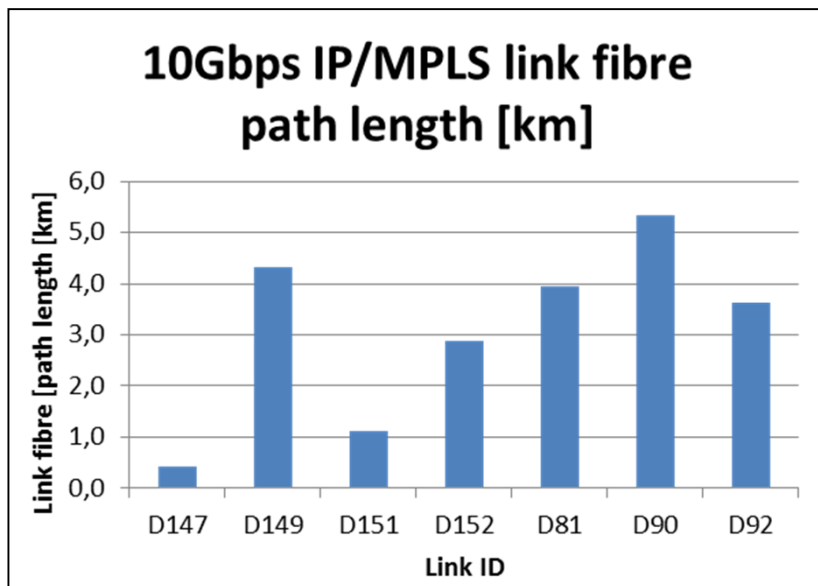
# Steps of the process



1. Sites (based on public information of PSTN switching center locations)
2. Duct topology (derived from the street grid of a public map database – OpenSourceMap)
3. Cable topology (defined intuitively, based on realistic assumptions and design experience)
4. IP/MPLS logical topology (defined by scratch), OSPF areas, link weights
5. IP/MPLS bandwidth demands
  - i. Metropolitan area are split for service areas (based on the city districts), and aggregation sites are assigned to serve the areas
  - ii. Number of served users are estimated (90 % residential penetration, business and mobility)
  - iii. Upload and download bandwidth per user 1Mbps and 2 Mbps respectively, statistical multiplexing gain in aggregation and core 80%
  - iv. Aggregated traffic originated and terminated in eBNodes of the served areas are accumulated and assigned to relevant aggregation nodes
  - v. Traffic to be forwarded to a single site selected to accommodate LTE core functions
6. Cables are routed over the duct topology
7. IP/MPLS links are routed over the cable topology
8. Traffic is routed over the IP/MPLS link topology
  - i. Traffic is routed in failure free network case to calculate nominal link loads
  - ii. Failure impact analysis: Traffic is routed in each single SRLG-failure case (limited to duct section failures) to calculate the link loads according the OSPF adaptation
    - Duct damage caused by third party activities is assumed, duct damage results in cable cut and IP link outage,
    - Network states are specified by the working state (up/down) of IP links, and duct damage s result in identical network state grouped and evaluated only once
    - OSPF path calculations are performed in each network state taking into account the IP links in up state only
    - Link loads are calculated according to the obtained paths in each network state
9. Post processing of primary results
  - i. Calculation of maximum load of each IP/MPLS link taking into account failure free and single SRLG-failure cases
  - ii. Selection of IP/MPLS link bandwidth (10Gbps/100Gbps) according to the calculated maximum load to maintain required service quality in covered failure states, as well
  - iii. Checking whether the fiber path length of links are in the reach of the relevant dark fiber system



# Fiber path length of IP links routed over the cable and duct topology

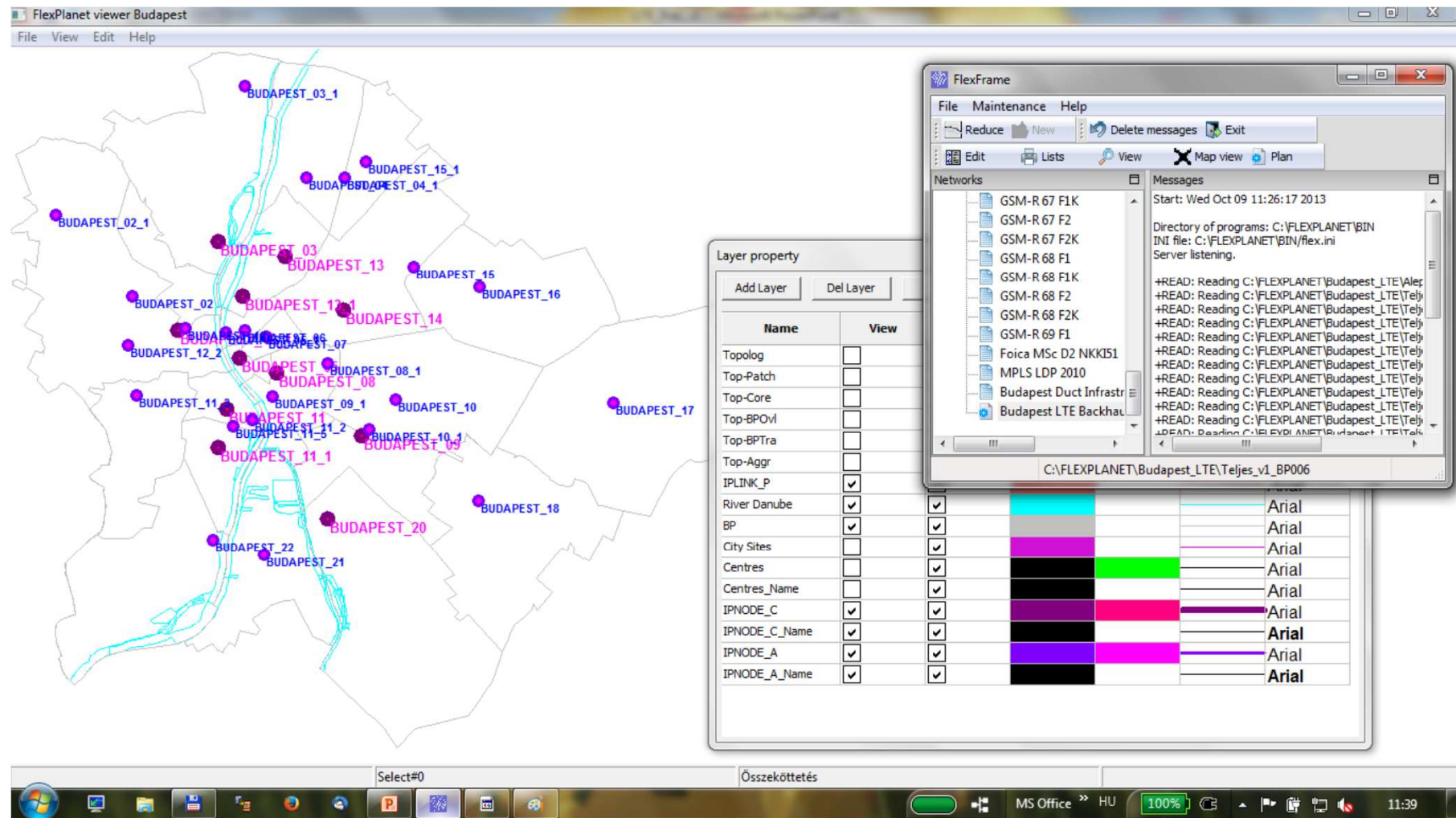


- 10Gbps link fiber path lengths are below the maximum DF reach (40 km is assumed)
- 4 100Gbps link fiber path lengths are above the maximum DF reach (10 km is assumed), these links can be realized by 4, 6, 9 and 12 aggregated 10Gbps links carried by individual DF systems

# **SCREENSHOTS FROM FLEXPLANET NETWORK PLANNING AND ANALYSIS TOOL**



# Core and Aggregation Sites

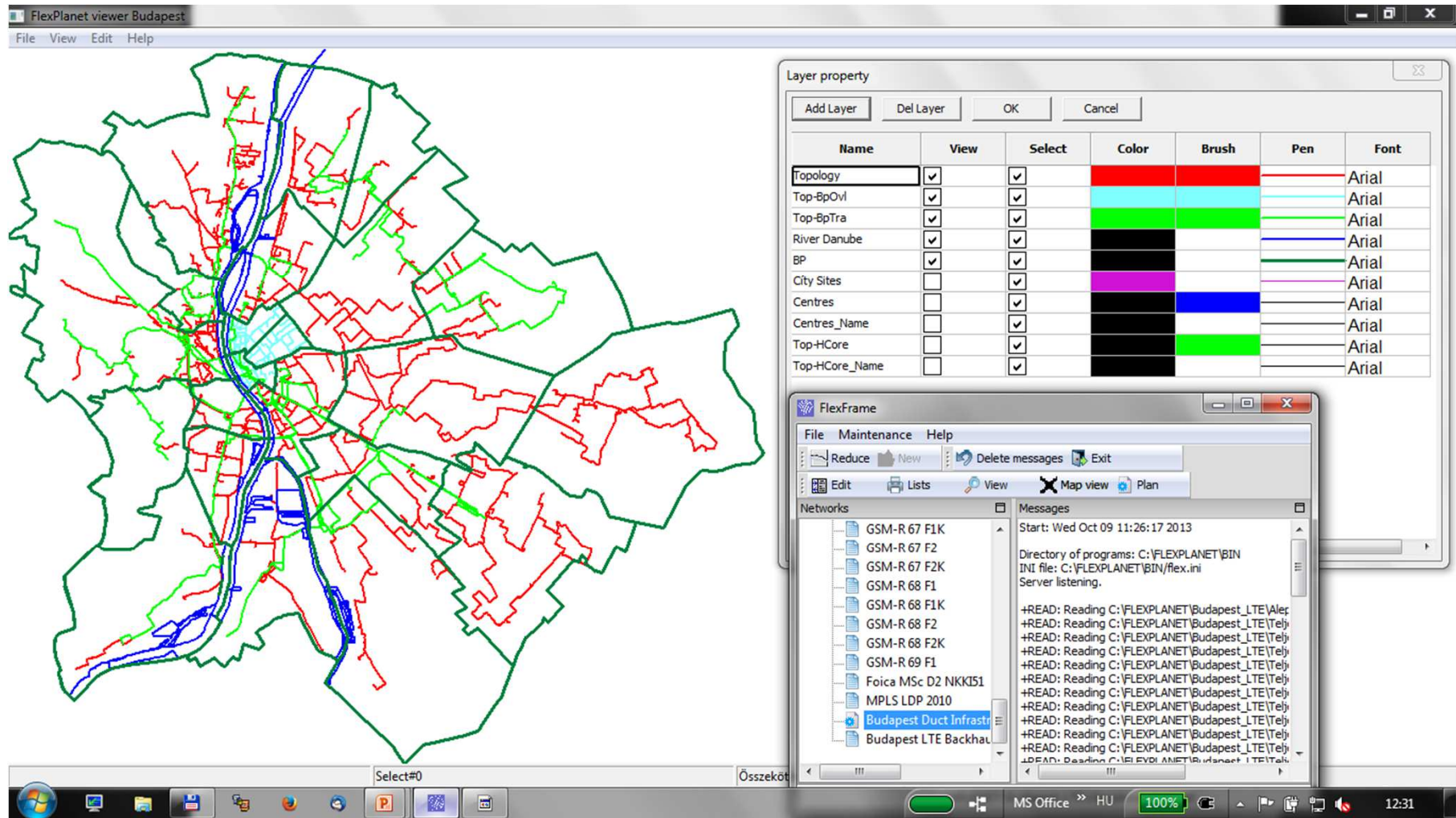



The screenshot displays the FlexPlanet viewer interface for Budapest. The main map shows the city's layout with numerous site locations labeled, such as BUDAPEST\_01 through BUDAPEST\_22. The Danube River is highlighted in cyan. Several windows are open over the map:

- Layer property**: A table showing the visibility of various layers. The 'View' column contains checkboxes, and the 'Name' column lists layers like Topolog, Top-Patch, Top-Core, etc.
- FlexFrame**: A window showing a list of network configurations and messages. The network list includes items like GSM-R 67 F1K, GSM-R 68 F1, and Budapest LTE Backhaul. The messages pane shows a series of '+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest\_LTE\Telj...' entries.

The Windows taskbar at the bottom shows the system tray with the date '11:39' and the language 'HU'.

Name	View
Topolog	<input type="checkbox"/>
Top-Patch	<input type="checkbox"/>
Top-Core	<input type="checkbox"/>
Top-BPOvl	<input type="checkbox"/>
Top-BPTra	<input type="checkbox"/>
Top-Aggr	<input type="checkbox"/>
IPLINK_P	<input checked="" type="checkbox"/>
River Danube	<input checked="" type="checkbox"/>
BP	<input checked="" type="checkbox"/>
City Sites	<input checked="" type="checkbox"/>
Centres	<input checked="" type="checkbox"/>
Centres_Name	<input checked="" type="checkbox"/>
IPNODE_C	<input checked="" type="checkbox"/>
IPNODE_C_Name	<input checked="" type="checkbox"/>
IPNODE_A	<input checked="" type="checkbox"/>
IPNODE_A_Name	<input checked="" type="checkbox"/>



The screenshot displays the FlexPlanet viewer interface for Budapest. The main map shows a complex network of ducts in various colors (red, green, blue, black, purple) overlaid on a city outline. A 'Layer property' dialog box is open, showing the following table:

Name	View	Select	Color	Brush	Pen	Font
Topology	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Red	Red	Red	Arial
Top-BpOvl	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cyan	Cyan	Cyan	Arial
Top-BpTra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Green	Green	Green	Arial
River Danube	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Black	Blue	Arial
BP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Black	Green	Arial
City Sites	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Purple	Purple	Purple	Arial
Centres	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Black	Blue	Arial
Centres_Name	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Black	Black	Arial
Top-HCore	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Black	Green	Arial
Top-HCore_Name	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Black	Black	Arial

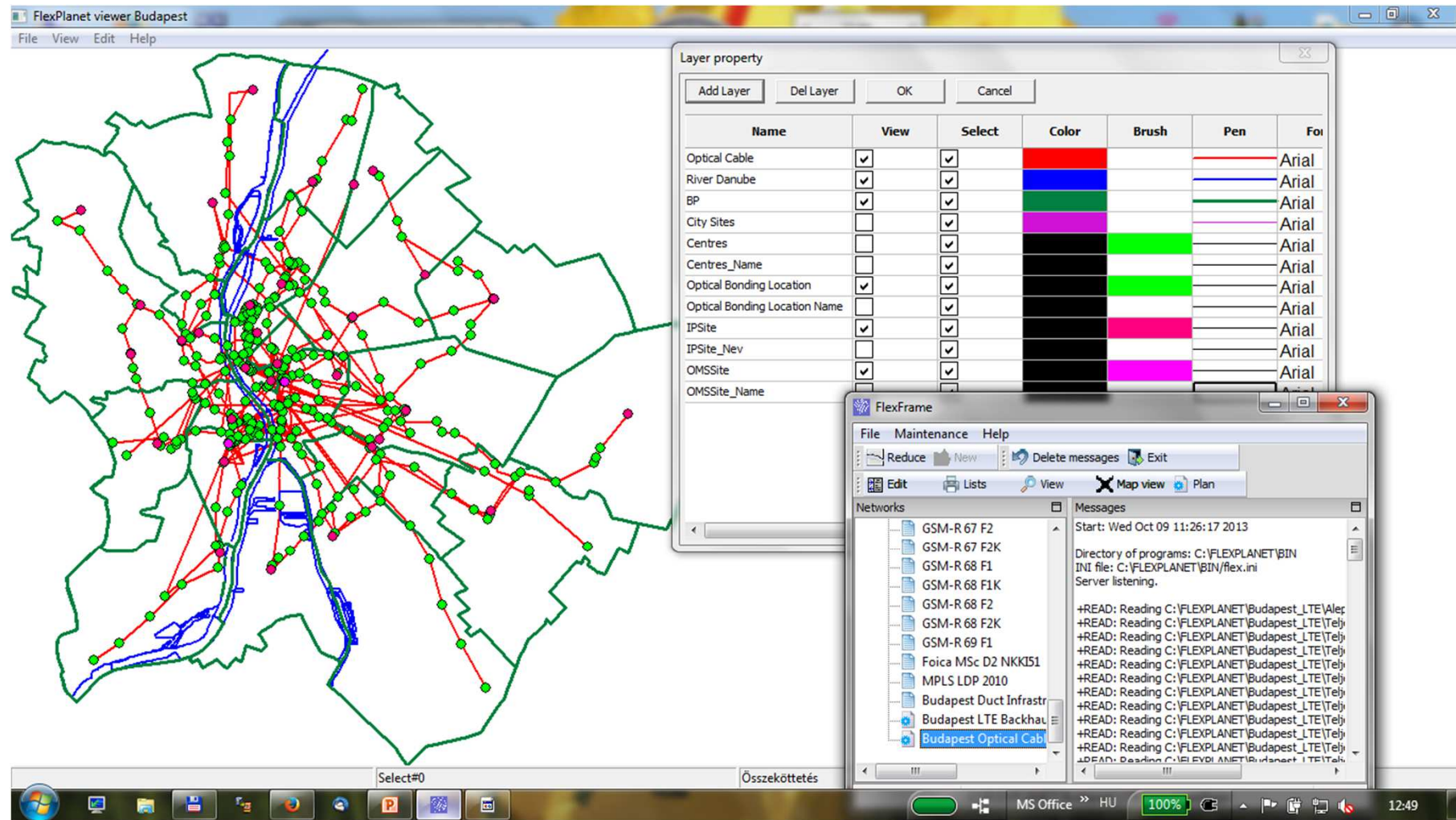
Below the layer properties, a 'FlexFrame' window is open, showing a file explorer view of the network structure. The 'Networks' list includes:

- GSM-R 67 F1K
- GSM-R 67 F2
- GSM-R 67 F2K
- GSM-R 68 F1
- GSM-R 68 F1K
- GSM-R 68 F2
- GSM-R 68 F2K
- GSM-R 69 F1
- Foica MSc D2 NKKIS1
- MPLS LDP 2010
- Budapest Duct Infrastr
- Budapest LTE Backhaul

The 'Messages' pane shows a log of network events, including 'Start: Wed Oct 09 11:26:17 2013' and multiple '+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest\_LTE\Telj...' entries.



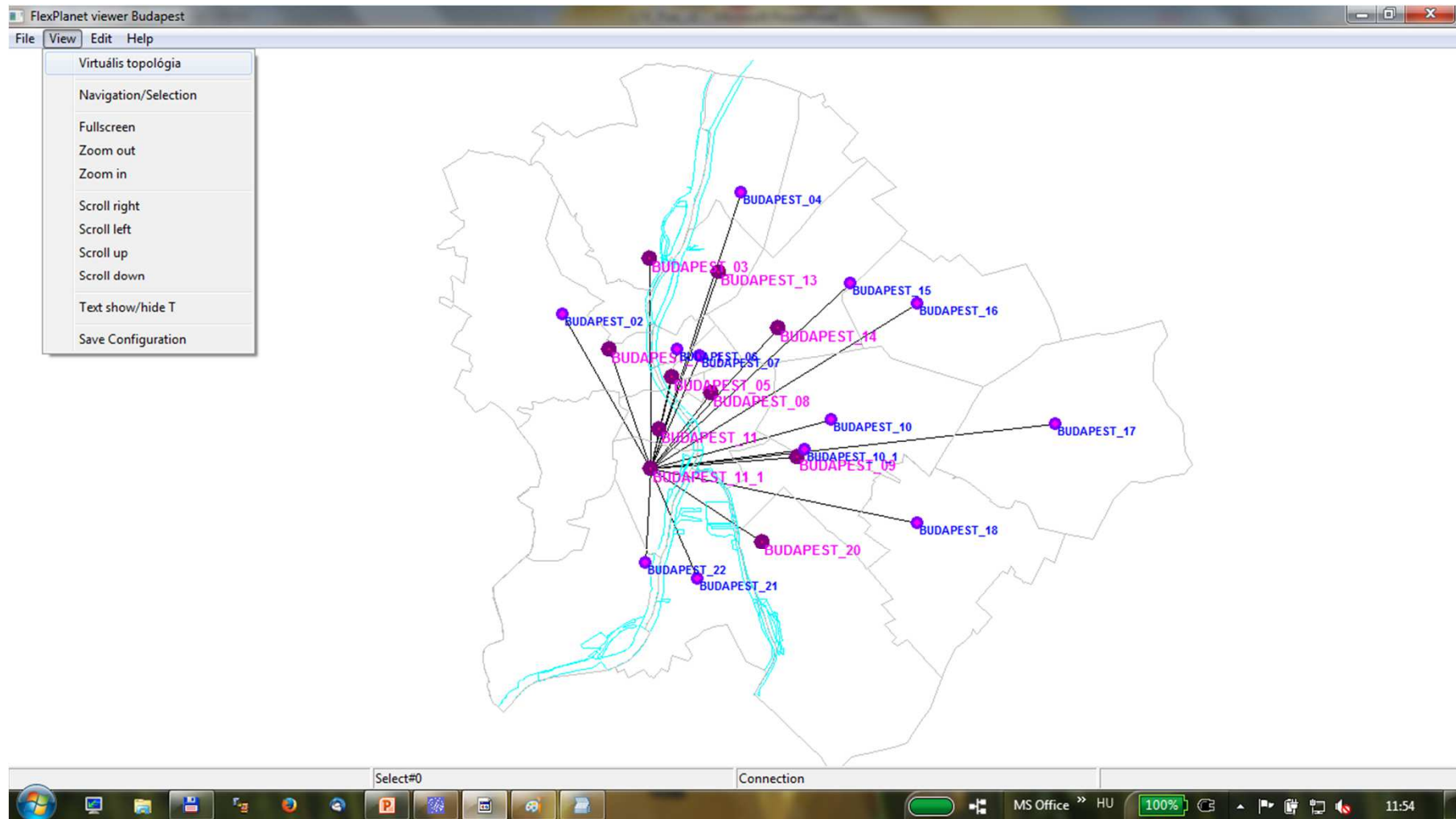
# Optical cable topology with bonding locations

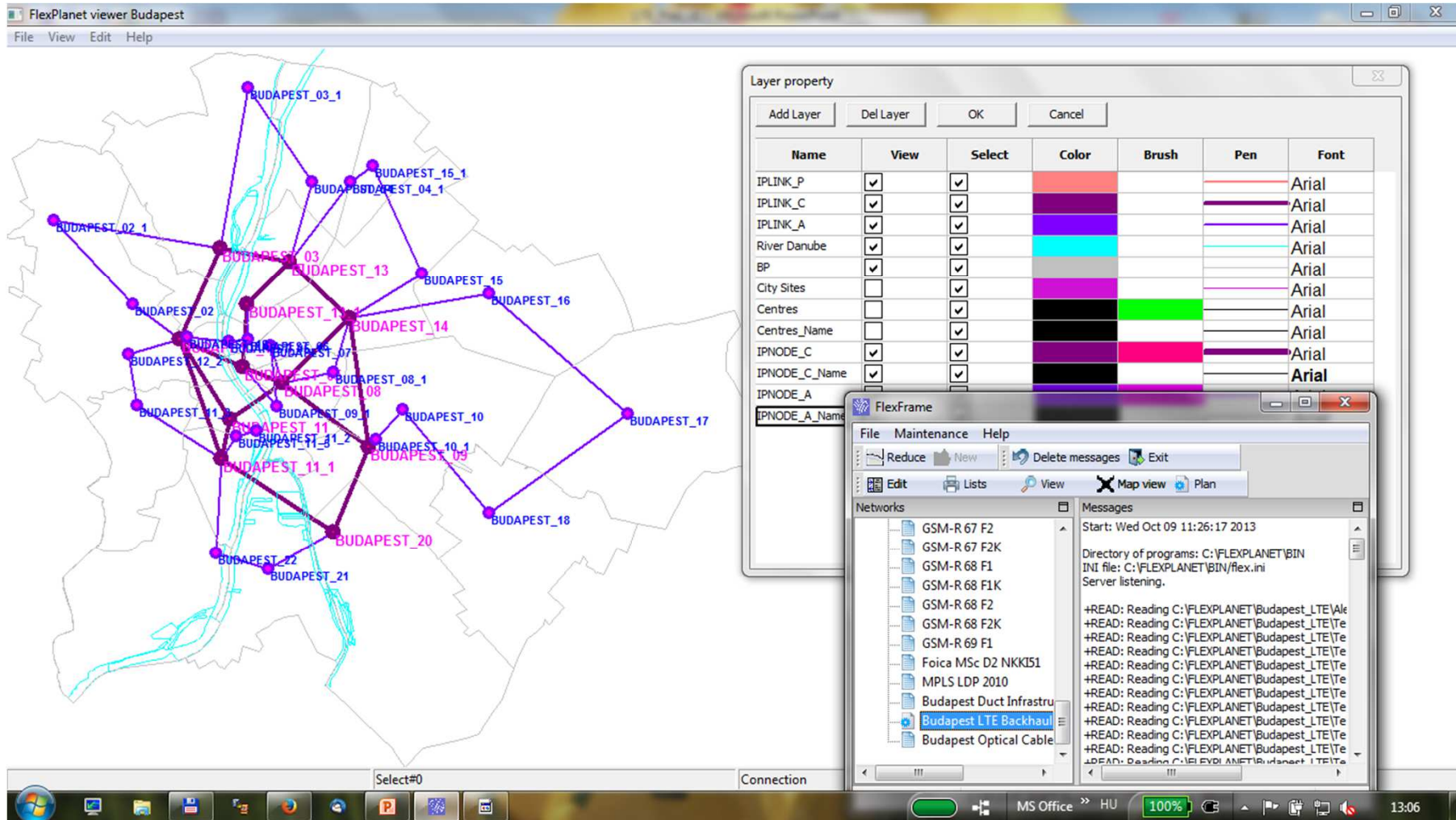
The screenshot displays the FlexPlanet viewer interface for Budapest. The main map shows a complex network of optical cables (red lines) and bonding locations (green dots) overlaid on a city map. A 'Layer property' dialog box is open, showing a list of layers with their respective colors and styles. The 'Optical Cable' layer is highlighted in red. The 'FlexFrame' window is also open, showing a list of networks and a messages log.

Name	View	Select	Color	Brush	Pen	Font
Optical Cable	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Red		Red	Arial
River Danube	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Blue		Blue	Arial
BP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Green		Green	Arial
City Sites	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Magenta		Magenta	Arial
Centres	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Green	Black	Arial
Centres_Name	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black		Black	Arial
Optical Bonding Location	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Green	Black	Arial
Optical Bonding Location Name	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black		Black	Arial
IPSite	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Magenta	Black	Arial
IPSite_Nev	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black		Black	Arial
OMSSite	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black	Magenta	Black	Arial
OMSSite_Name	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Black		Black	Arial

The 'FlexFrame' window shows a list of networks including GSM-R 67 F2, GSM-R 67 F2K, GSM-R 68 F1, GSM-R 68 F1K, GSM-R 68 F2, GSM-R 68 F2K, GSM-R 69 F1, Foica MSc D2 NKKI51, MPLS LDP 2010, Budapest Duct Infrastr, Budapest LTE Backhaul, and Budapest Optical Cable. The messages log shows the start time (Wed Oct 09 11:26:17 2013) and the directory of programs (C:\FLEXPLANET\BIN).



# IP/MPLS logical topology

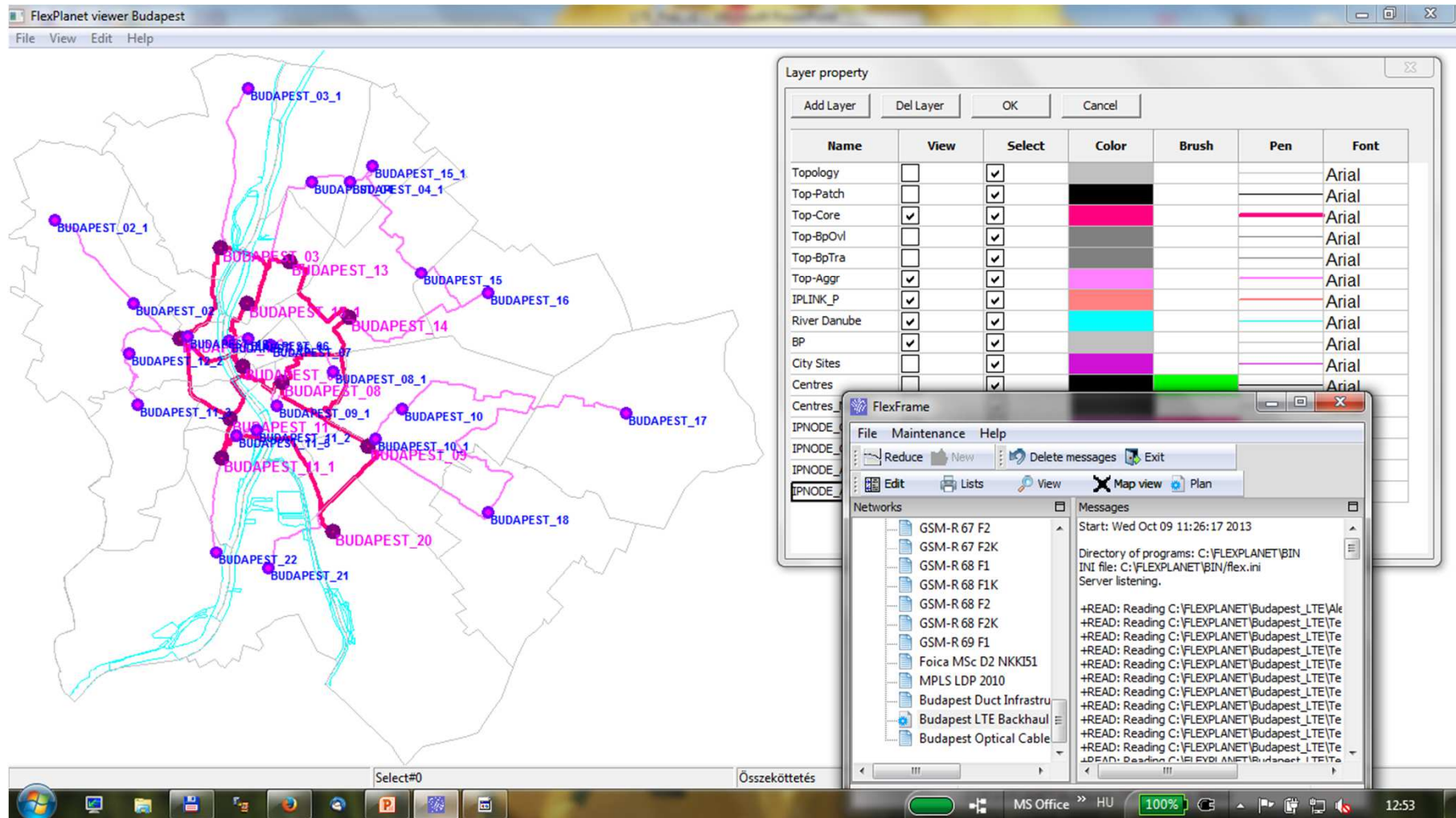



The screenshot displays the FlexPlanet viewer interface for Budapest. The main window shows a network topology map with nodes labeled BUDAPEST\_02 through BUDAPEST\_22 and various links. The River Danube is shown in cyan. The interface includes a menu bar (File, View, Edit, Help) and a status bar at the bottom.

Overlaid on the main window are three smaller windows:

- Layer property**: A dialog box for configuring layer styles. It contains a table with columns: Name, View, Select, Color, Brush, Pen, and Font.
- FlexFrame**: A window showing a file tree on the left and a message log on the right. The file tree includes folders like GSM-R 67 F2, GSM-R 68 F1, and Budapest Duct Infrastru. The message log shows a series of '+READ' messages.
- Messages**: A window showing a message log with a 'Start' time of 'Wed Oct 09 11:26:17 2013' and a directory path 'C:\FLEXPLANET\BIN'.

# IP/MPLS network over Dark Fiber

The screenshot displays the FlexPlanet viewer interface for Budapest. The main map shows a network topology with nodes labeled BUDAPEST\_02\_1 through BUDAPEST\_22. The network is overlaid on a map of Budapest, with the Danube River (River Danube) shown in cyan. The network layers are color-coded: Top-Core (magenta), Top-BpOvl (grey), Top-BpTra (grey), Top-Aggr (magenta), IPLINK\_P (red), River Danube (cyan), BP (cyan), City Sites (magenta), and Centres (green).

The Layer property dialog window is open, showing the following table:

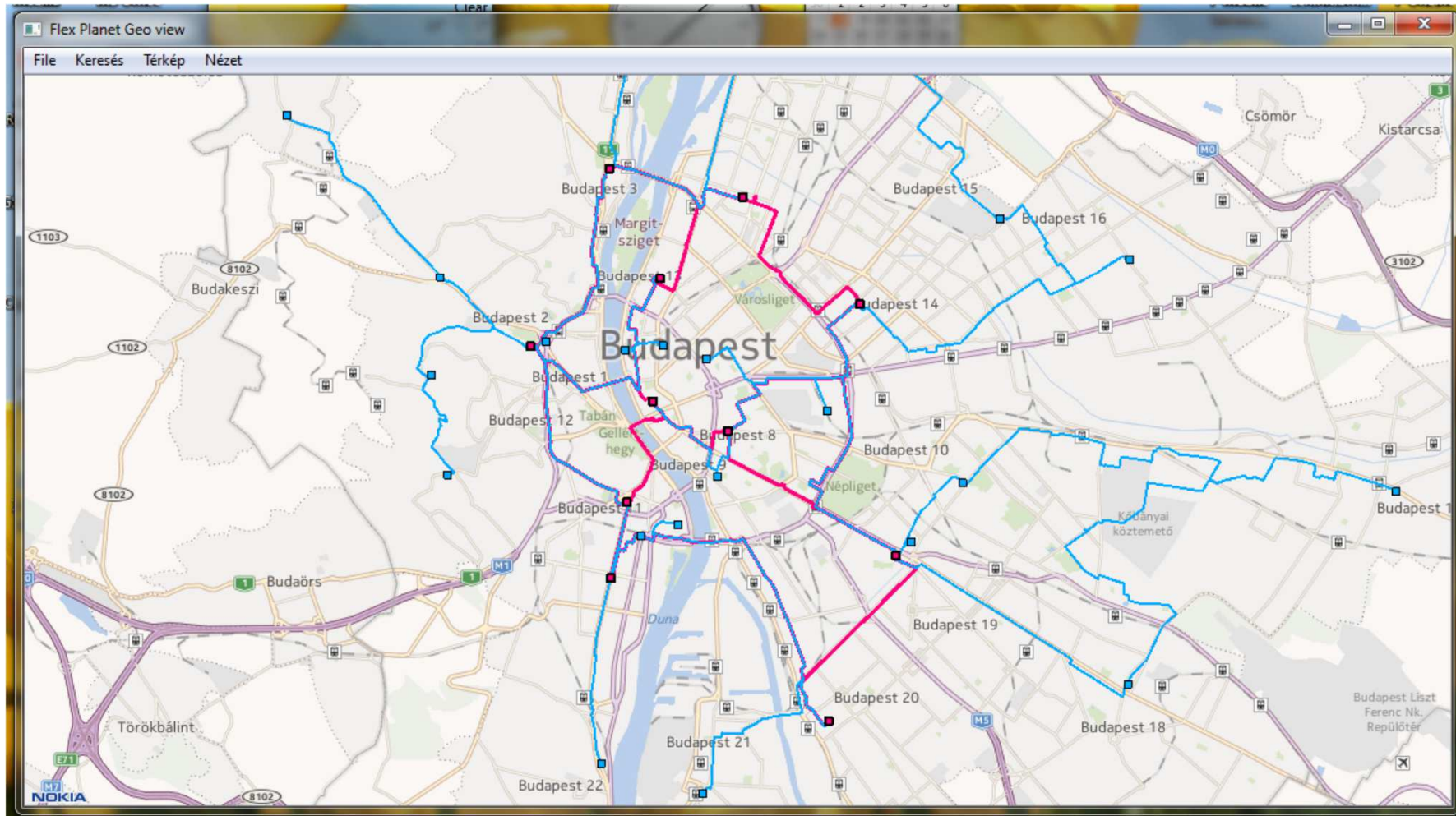
Name	View	Select	Color	Brush	Pen	Font
Topology	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-Patch	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-Core	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-BpOvl	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-BpTra	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Top-Aggr	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
IPLINK_P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
River Danube	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
BP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
City Sites	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial
Centres	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				Arial

The FlexFrame dialog window is also open, showing a list of networks and messages. The Networks list includes:

- GSM-R 67 F2
- GSM-R 67 F2K
- GSM-R 68 F1
- GSM-R 68 F1K
- GSM-R 68 F2
- GSM-R 68 F2K
- GSM-R 69 F1
- Foica MSc D2 NKI51
- MPLS LDP 2010
- Budapest Duct Infrastru
- Budapest LTE Backhaul
- Budapest Optical Cable

The Messages window shows the following text:

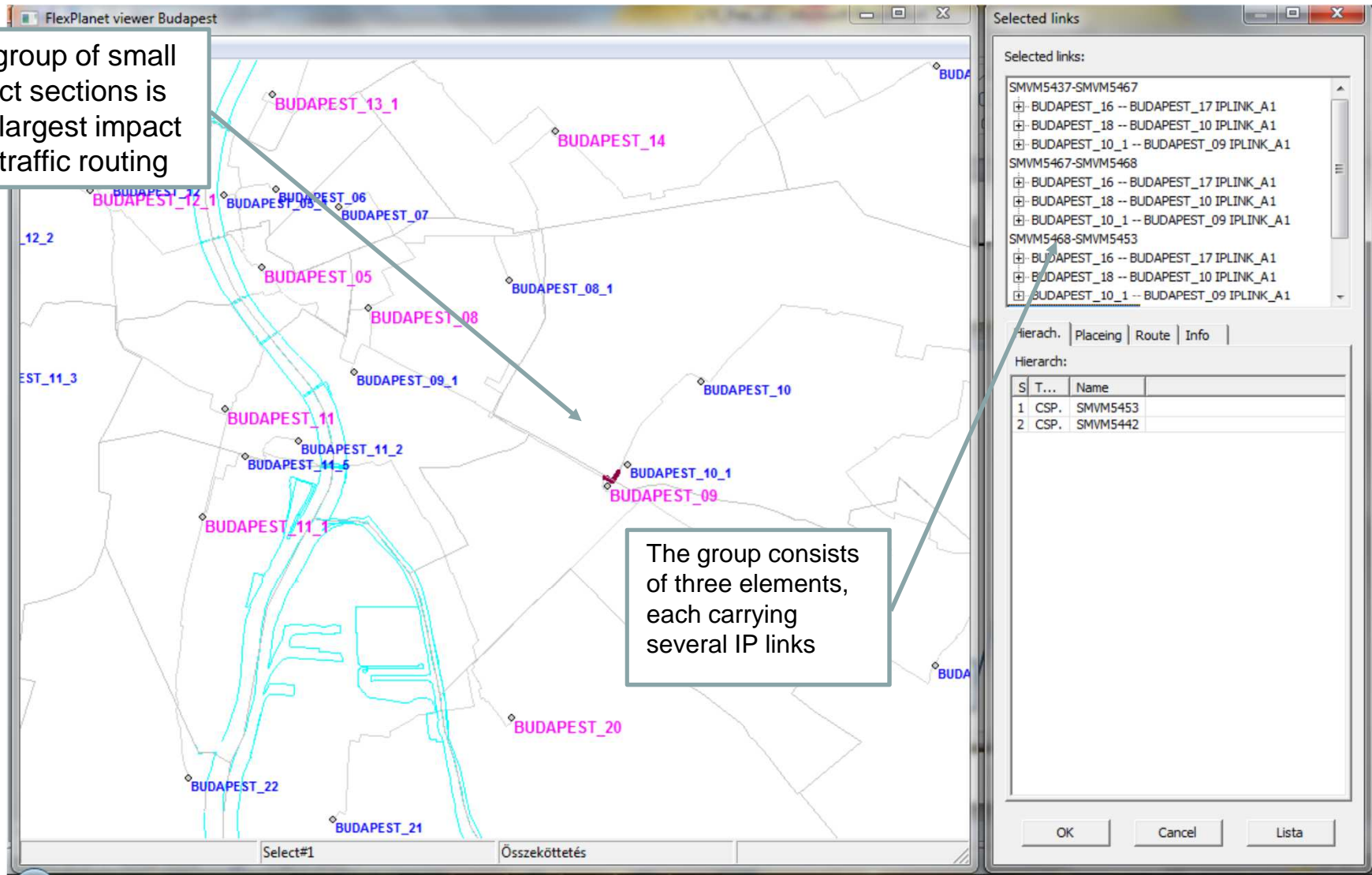
```
Start: Wed Oct 09 11:26:17 2013
Directory of programs: C:\FLEXPLANET\BIN
INI file: C:\FLEXPLANET\BIN\flex.ini
Server listening.
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Wk
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
+READ: Reading C:\FLEXPLANET\Budapest_LTE\Te
```



# Duct Section Damage of Largest Impact on Traffic Routing



A group of small duct sections is of largest impact of traffic routing



The screenshot shows the FlexPlanet viewer interface for Budapest. The main map displays a network of nodes (labeled BUDAPEST\_05 through BUDAPEST\_22) and links. A group of links is highlighted in cyan, indicating they are the focus of the analysis. A callout box points to this group, stating: "A group of small duct sections is of largest impact of traffic routing". Another callout box points to a specific link in the "Selected links" panel, stating: "The group consists of three elements, each carrying several IP links".

The "Selected links" panel on the right shows a list of selected links:

```

Selected links:
SMVM5437-SMVM5467
[+] BUDAPEST_16 -- BUDAPEST_17 IPLINK_A1
[+] BUDAPEST_18 -- BUDAPEST_10 IPLINK_A1
[+] BUDAPEST_10_1 -- BUDAPEST_09 IPLINK_A1
SMVM5467-SMVM5468
[+] BUDAPEST_16 -- BUDAPEST_17 IPLINK_A1
[+] BUDAPEST_18 -- BUDAPEST_10 IPLINK_A1
[+] BUDAPEST_10_1 -- BUDAPEST_09 IPLINK_A1
SMVM5468-SMVM5453
[+] BUDAPEST_16 -- BUDAPEST_17 IPLINK_A1
[+] BUDAPEST_18 -- BUDAPEST_10 IPLINK_A1
[+] BUDAPEST_10_1 -- BUDAPEST_09 IPLINK_A1
    
```

Below the list, there are tabs for "Hierach.", "Placing", "Route", and "Info". The "Hierach:" section contains a table:

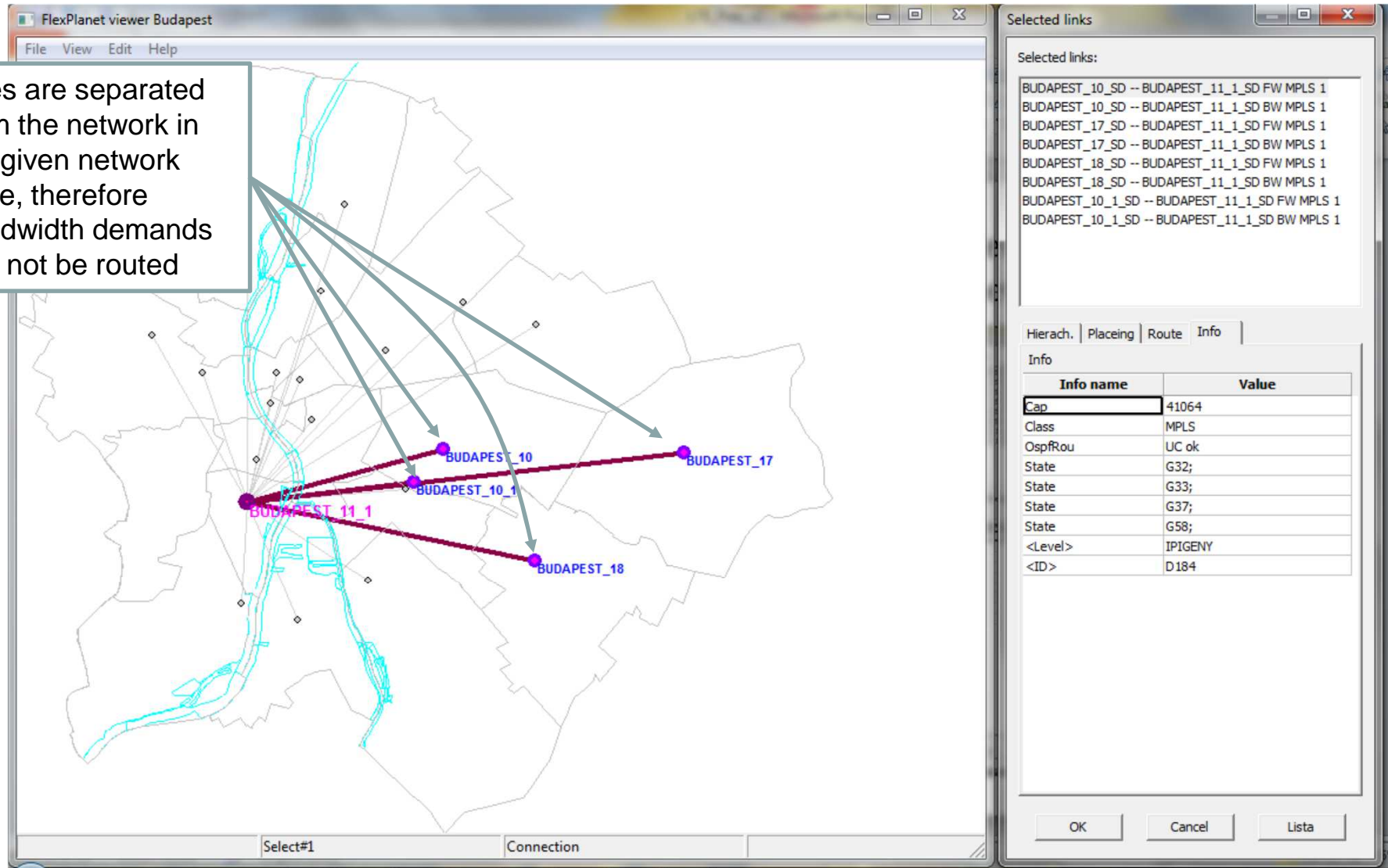
S	T...	Name
1	CSP.	SMVM5453
2	CSP.	SMVM5442

At the bottom of the panel, there are buttons for "OK", "Cancel", and "Lista".

# The bandwidth demands impacted in the selected network state



Sites are separated from the network in the given network state, therefore bandwidth demands can not be routed



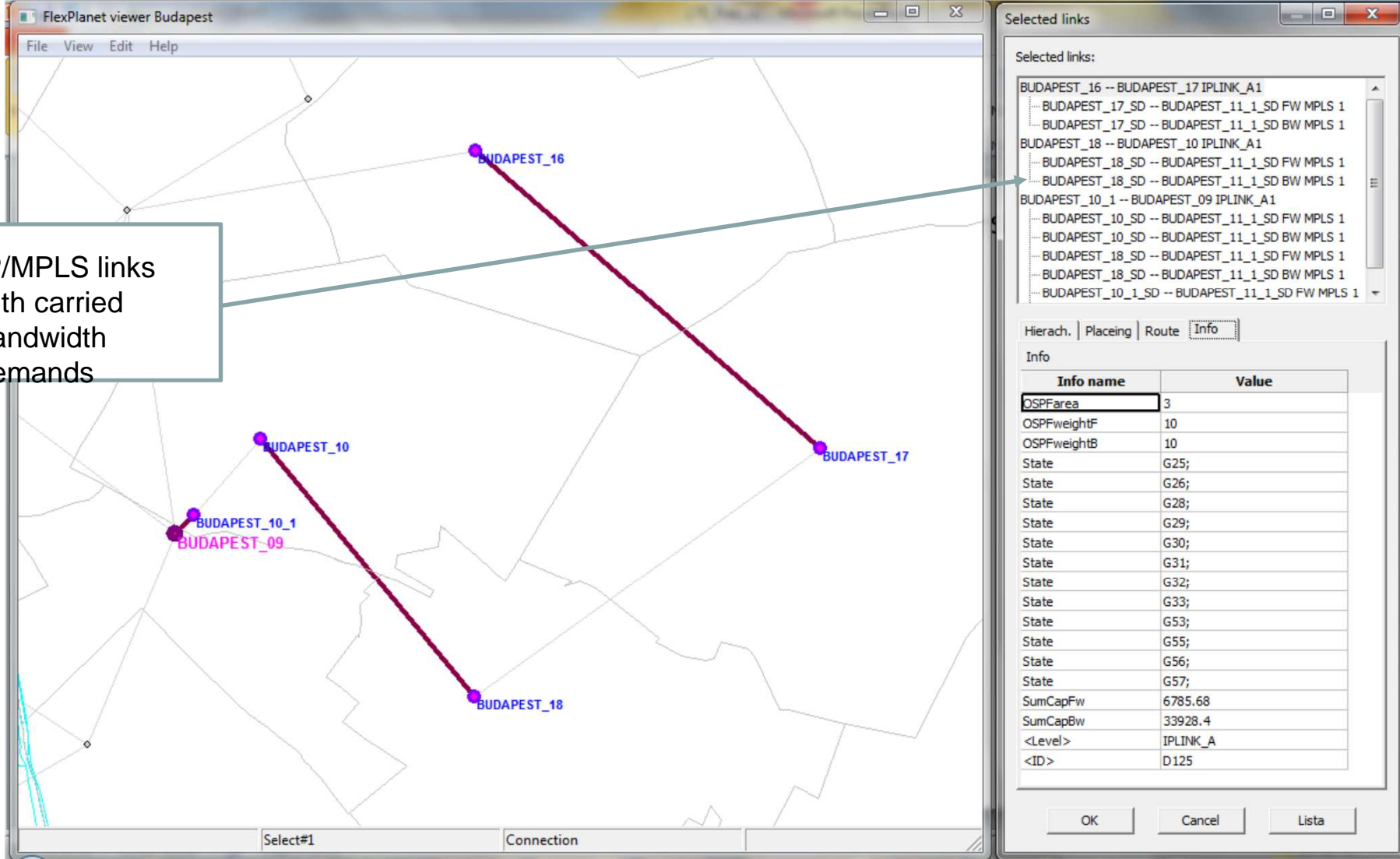
**Selected links:**

```

BUDAPEST_10_SD -- BUDAPEST_11_1_SD FW MPLS 1
BUDAPEST_10_SD -- BUDAPEST_11_1_SD BW MPLS 1
BUDAPEST_17_SD -- BUDAPEST_11_1_SD FW MPLS 1
BUDAPEST_17_SD -- BUDAPEST_11_1_SD BW MPLS 1
BUDAPEST_18_SD -- BUDAPEST_11_1_SD FW MPLS 1
BUDAPEST_18_SD -- BUDAPEST_11_1_SD BW MPLS 1
BUDAPEST_10_1_SD -- BUDAPEST_11_1_SD FW MPLS 1
BUDAPEST_10_1_SD -- BUDAPEST_11_1_SD BW MPLS 1
    
```

Info name	Value
Cap	41064
Class	MPLS
OspfRou	UC ok
State	G32;
State	G33;
State	G37;
State	G58;
<Level>	IPIGENY
<ID>	D184

# The IP/MPLS links impacted in the selected network state



IP/MPLS links with carried bandwidth demands

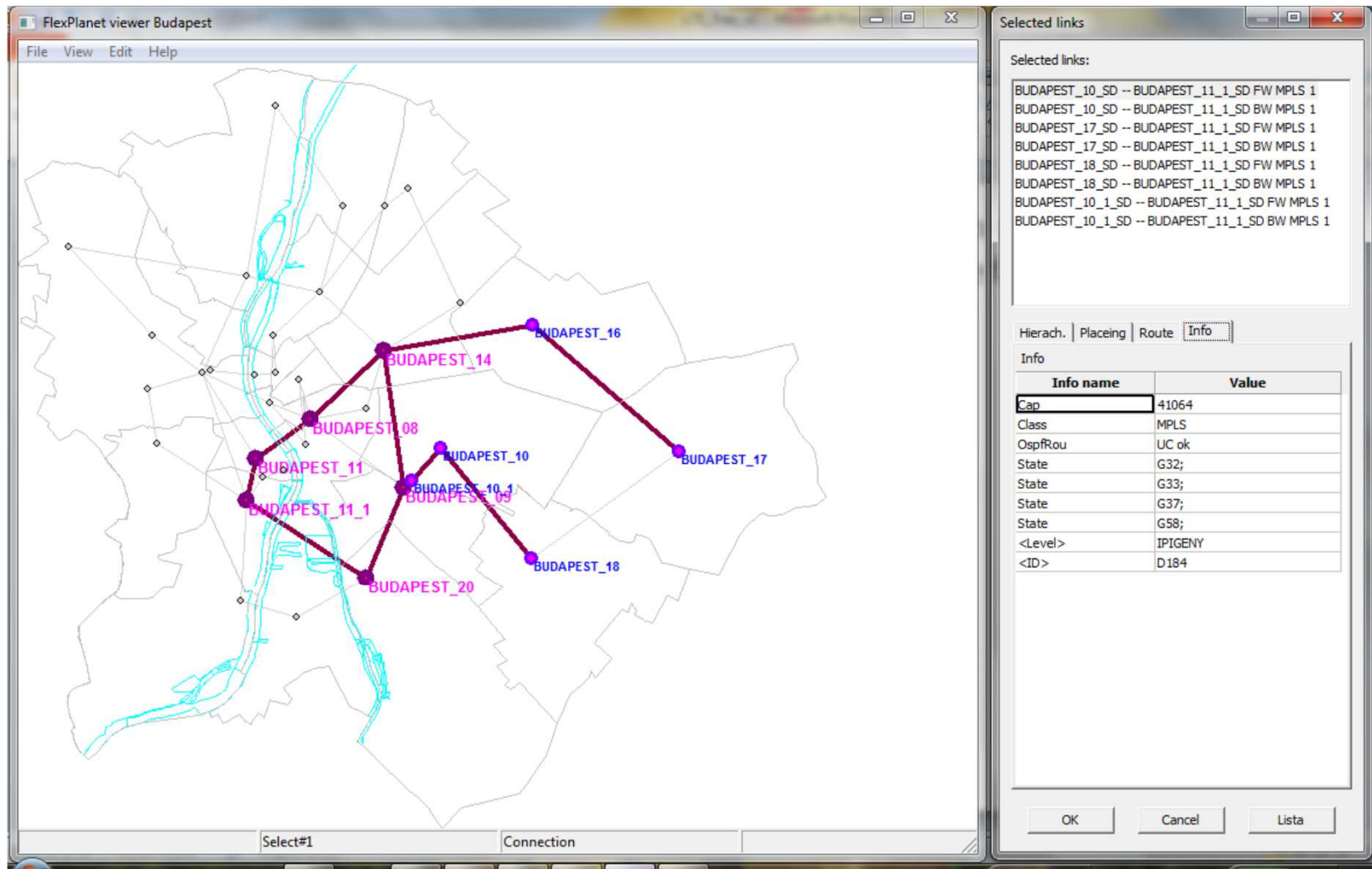
**Selected links:**

- BUDAPEST\_16 -- BUDAPEST\_17 IPLINK\_A1
- BUDAPEST\_17\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1
- BUDAPEST\_17\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD BW MPLS 1
- BUDAPEST\_18 -- BUDAPEST\_10 IPLINK\_A1
- BUDAPEST\_18\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1
- BUDAPEST\_18\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD BW MPLS 1
- BUDAPEST\_10\_1 -- BUDAPEST\_09 IPLINK\_A1
- BUDAPEST\_10\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1
- BUDAPEST\_10\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD BW MPLS 1
- BUDAPEST\_18\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1
- BUDAPEST\_18\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD BW MPLS 1
- BUDAPEST\_10\_1\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1

Info name	Value
OSPFarea	3
OSPFweightF	10
OSPFweightB	10
State	G25;
State	G26;
State	G28;
State	G29;
State	G30;
State	G31;
State	G32;
State	G33;
State	G53;
State	G55;
State	G56;
State	G57;
SumCapFw	6785.68
SumCapBw	33928.4
<Level>	IPLINK_A
<ID>	D125



# Routing of the impacted bandwidth demands over the IP/MPLS link topology in the failure free network state

The screenshot shows the FlexPlanet viewer Budapest interface. The main window displays a network topology map of Budapest with nodes labeled BUDAPEST\_08, BUDAPEST\_10, BUDAPEST\_11, BUDAPEST\_11\_1, BUDAPEST\_14, BUDAPEST\_16, BUDAPEST\_17, BUDAPEST\_18, BUDAPEST\_20, and BUDAPEST\_10\_1. A path of selected links is highlighted in red. The 'Selected links' panel on the right lists the following links:

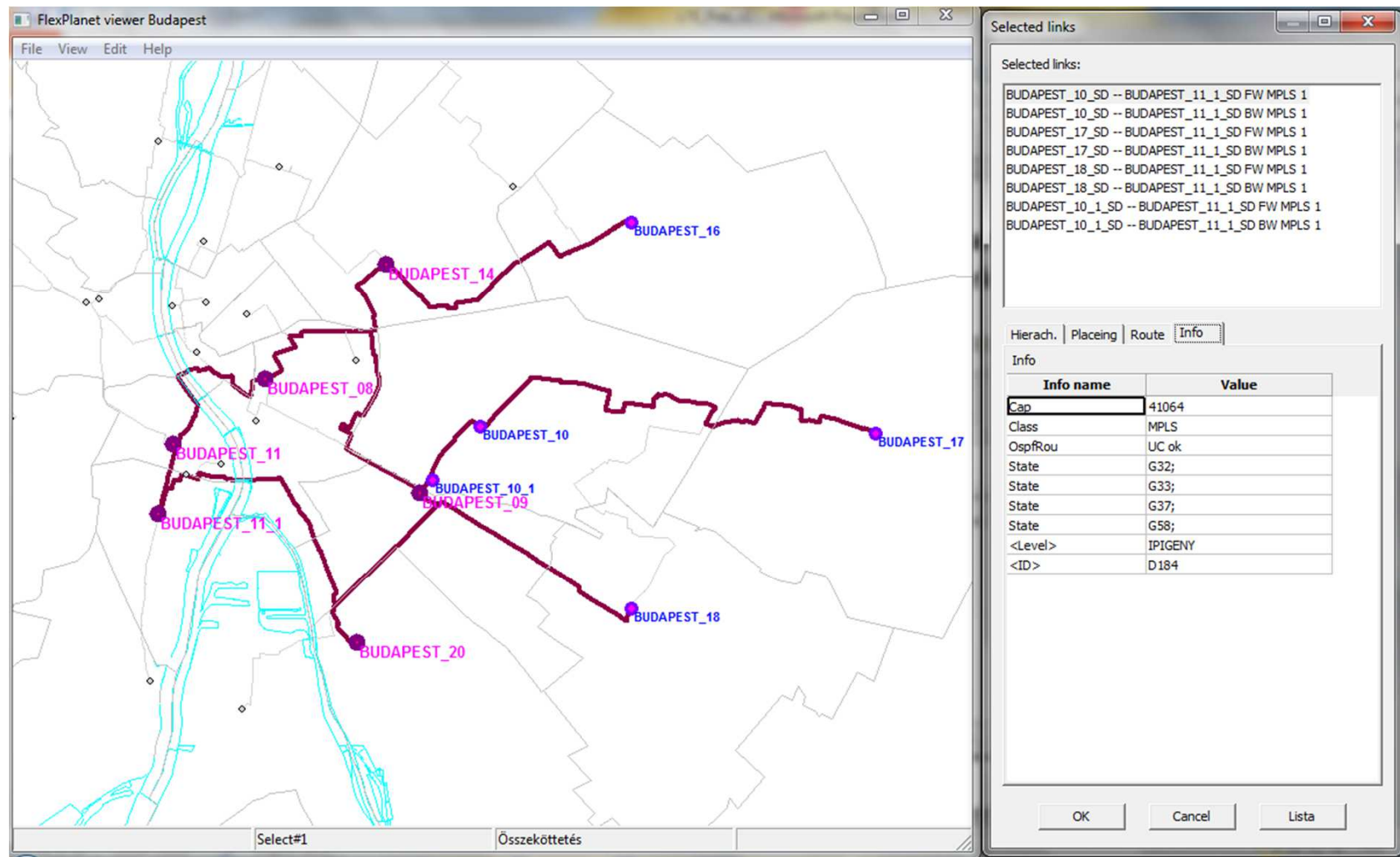
```

BUDAPEST_10_SD -- BUDAPEST_11_1_SD FW MPLS 1
BUDAPEST_10_SD -- BUDAPEST_11_1_SD BW MPLS 1
BUDAPEST_17_SD -- BUDAPEST_11_1_SD FW MPLS 1
BUDAPEST_17_SD -- BUDAPEST_11_1_SD BW MPLS 1
BUDAPEST_18_SD -- BUDAPEST_11_1_SD FW MPLS 1
BUDAPEST_18_SD -- BUDAPEST_11_1_SD BW MPLS 1
BUDAPEST_10_1_SD -- BUDAPEST_11_1_SD FW MPLS 1
BUDAPEST_10_1_SD -- BUDAPEST_11_1_SD BW MPLS 1
    
```

The 'Info' panel on the right provides details for the selected links:

Info name	Value
Cap	41064
Class	MPLS
OspfRou	UC ok
State	G32;
State	G33;
State	G37;
State	G58;
<Level>	IPIGENY
<ID>	D184

# Routing of the impacted bandwidth demands over the duct topology in the failure free network state

The screenshot shows the FlexPlanet viewer interface for Budapest. The main window displays a network map with nodes labeled BUDAPEST\_08 through BUDAPEST\_20. A red line indicates a selected route connecting several nodes. On the right, a 'Selected links' dialog box is open, showing a list of selected links and an 'Info' tab with a table of link properties.

**Selected links:**

- BUDAPEST\_10\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1
- BUDAPEST\_10\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD BW MPLS 1
- BUDAPEST\_17\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1
- BUDAPEST\_17\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD BW MPLS 1
- BUDAPEST\_18\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1
- BUDAPEST\_18\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD BW MPLS 1
- BUDAPEST\_10\_1\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD FW MPLS 1
- BUDAPEST\_10\_1\_SD -- BUDAPEST\_11\_1\_SD BW MPLS 1

**Info**

Info name	Value
Cap	41064
Class	MPLS
OspfRou	UC ok
State	G32;
State	G33;
State	G37;
State	G58;
<Level>	IPIGENY
<ID>	D184