

# Távközlő hálózatok megbízhatósági elemzése

Arató Dávid  
Bajor Péter  
Horváth András  
Jakab Tivadar  
Jereb László  
Telek Miklós

Budapesti Műszaki Egyetem  
Híradástechnikai Tanszék

1996. december

Ez a tanulmány a Magyar Távközlési Vállalat Informatikai Igazgatósága és a  
Budapesti Műszaki Egyetem Híradástechnikai Tanszéke közti  
hálózatmegbízhatóság tárgykörben létrejött szerződés 2.2 – 2.5 vonatkozó  
részfeladatainak teljesítése.

Cím: Sztoczek u. 2.  
H-1111, Budapest  
Hungary

Telefon: +36-1-4632062

Fax: +36-1-4633266

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b>	<b>5</b>
<b>2. Ajánlások</b>	<b>7</b>
2.1. Egyszerű (egysíkú) átviteli hálózatok ajánlásai . . . . .	8
2.1.1. Alapfogalmak . . . . .	9
2.1.2. Képességek . . . . .	10
2.1.3. Események, állapotok . . . . .	12
2.1.4. Fenntartás, karbantartás . . . . .	14
2.1.5. Időfogalmak . . . . .	15
2.1.6. Szolgáltatásra vonatkozó mértékek, képességek . . . . .	17
2.1.7. Elemmel kapcsolatos jellemzők . . . . .	18
2.1.8. Vizsgálatokkal, adatokkal, megbízhatóság-tervezéssel és analízissel kapcsolatos fogalmak . . . . .	24
2.1.9. Mennyiségek statisztikai értelemmódosító jelzői, statisztikai fogalmak . . . . .	27
2.1.10. Összeköttetés fennmaradhatósági célkitűzések . . . . .	27
2.1.11. Bérelt vonali összeköttetés . . . . .	28
2.2. Hierarchikus hálózatokat kezelő ajánlások . . . . .	28
2.3. Megjegyzések . . . . .	32
2.4. Az absztrakt és a valós hálózatok kapcsolata . . . . .	34
<b>3. Szolgáltatói szempontok</b>	<b>35</b>
3.1. Szabványos paraméterek . . . . .	35
3.2. A megbízhatósági elemzés bemenő adatai . . . . .	37
3.3. A megbízhatósági elemzés célja . . . . .	39
<b>4. Modellalkotás</b>	<b>41</b>
4.1. A modellalkotás alapvető kérdései . . . . .	41
4.2. Alkotó elemek . . . . .	43

4.3.	Vizsgált paraméterek . . . . .	49
<b>5.</b>	<b>Védelem nélküli hálózatok</b>	<b>51</b>
5.1.	Egysíkú hálózatok . . . . .	51
5.1.1.	Klasszikus jellemzők . . . . .	52
5.1.2.	A K-terminál-megbízhatóság ( <i>K-terminal-reliability</i> ) . .	53
5.1.3.	Megfelelőségi mutatók . . . . .	55
5.2.	Többsíkú hálózatok . . . . .	58
<b>6.</b>	<b>Védett hálózatok</b>	<b>59</b>
6.1.	Korrektív védelem — Helyreállítás . . . . .	59
6.2.	Preventív védelem . . . . .	61
6.2.1.	Egysíkú hálózatok . . . . .	62
6.2.2.	Hierarchikus hálózatok . . . . .	66
6.2.3.	Alstruktúránkénti védelem . . . . .	66
6.2.4.	Berendezés védelem . . . . .	70
<b>7.</b>	<b>Hálózatjellemzők közelítő számítási módszere</b>	<b>81</b>
7.1.	Az alkalmazott megbízhatósági modell . . . . .	81
7.2.	Azonos meghibásodási tényezőjű elemek . . . . .	83
7.3.	Különböző meghibásodási tényezőjű elemek . . . . .	83
7.3.1.	Hibamodellelemek kiválasztása . . . . .	84
7.3.2.	Algoritmus hibaállapotok kiválasztására . . . . .	86
7.3.3.	Az algoritmus számítási igénye . . . . .	90
<b>8.</b>	<b>Hálózatmegbízhatóság számítás PLANET környezetben</b>	<b>93</b>
8.1.	A megbízhatósági elemző szoftver kialakításának szempontjai .	93
8.1.1.	Alkalmazási tapasztalatok hiánya . . . . .	94
8.1.2.	A PLANET tervezőrendszer tapasztalatai . . . . .	94
8.1.3.	A tervezett hálózatok jellemzői . . . . .	95
8.1.4.	A szoftver hordozhatósága . . . . .	95
8.1.5.	A szoftver továbbfejleszthetősége . . . . .	96
8.2.	A kialakított megoldás fő jellemzői . . . . .	96
8.2.1.	A hálózatelemek megbízhatósági modellje . . . . .	96
8.2.2.	A hálózatelemek kapcsolata . . . . .	97
8.2.3.	A vizsgált védelmi megoldások . . . . .	97
8.2.4.	Az előállított megbízhatósági jellemzők . . . . .	98

8.3.	A kialakított megoldás fő lépései . . . . .	98
8.3.1.	A PLANET tervezési eredmények előfeldolgozása . . . . .	99
8.3.2.	A megbízhatósági jellemzők előállítása . . . . .	99
8.3.3.	A megbízhatósági jellemzők kiértékelése . . . . .	99
8.4.	Nyitott kérdések, továbbfejlesztési irányok . . . . .	100
8.4.1.	Védelmi modellezési lehetőségek kibővítése . . . . .	101
8.4.2.	Szolgáltatások minősítése - teljesítőképességi analízis . . . . .	101
8.4.3.	Részletesebb modellek alkalmazása . . . . .	101
8.4.4.	Felhasználói felület továbbfejlesztése . . . . .	102
8.4.5.	Hálózatelemek megbízhatósági jellemzőinek gyakorlati előállítása . . . . .	102
<b>9.</b>	<b>Hálózatmegbízhatóság számítás, felhasználói leírás</b>	<b>103</b>
9.1.	A megbízhatósági elemzések közös feltételei . . . . .	103
9.2.	A PLANET tervezési eredmények előfeldolgozása . . . . .	105
9.2.1.	Futtatási környezet . . . . .	105
9.2.2.	Input fájlok szerkezete és tartalma . . . . .	105
9.2.3.	Futtatási tevékenység . . . . .	107
9.3.	A megbízhatósági jellemzők előállítása . . . . .	107
9.3.1.	Futtatási környezet . . . . .	107
9.3.2.	Input fájlok szerkezete és tartalma . . . . .	108
9.3.3.	Futtatási tevékenység . . . . .	108
9.3.4.	Eredményfájlok szerkezete és tartalma . . . . .	109
9.4.	A megbízhatósági jellemzők kiértékelése . . . . .	113
9.4.1.	Futtatási környezet . . . . .	114
9.4.2.	Input fájlok szerkezete és tartalma . . . . .	114
9.4.3.	Futtatási tevékenység . . . . .	114
<b>10.</b>	<b>Összefoglalás</b>	<b>115</b>
	<b>Irodalom</b>	<b>116</b>
	<b>Függelék</b>	<b>118</b>
<b>A.</b>	<b>Jelölések</b>	<b>119</b>



# 1. fejezet

## Bevezetés

A távközlési szolgáltató vállalatoknak igen fontos, a lehetőségekhez képest pontos adatokkal rendelkezniük az általuk üzemeltetett hálózatok lényeges jellemzőiről, mint például megvalósítási, üzemeltetési költségek, technikai paraméterek, az alkalmazható védelmi módszerek, az általuk nyújtott üzembiztonság mértéke és a hálózat megbízhatósági mutatói.

A tanulmány a hálózatmegbízhatósági témakörön belül kíván átfogó képet nyújtani a témakört meghatározó három fontos szempontrendszer ismertetésével és az ezek alapján megvalósított vizsgálati módszerek bemutatásával, és végül az elkészített program modul működésének, felhasználói ismereteinek összefoglalásával.

A három értékelésre kerülő szempontrendszer a kérdéskörben elérhető szabványok és ajánlások bemutatása, értelmezése és kritikája; a szolgáltató, üzemeltetői céljainak, kööttségeinek vizsgálata, és ezek hatásainak elemzése; és végül a tervezésben alkalmazható modellek, eljárások és algoritmusok bemutatása, a jelenlegi átviteli megoldásoknak és a potenciális közeljövő megoldásainak legmegfelelőbb eljárások kutatása és fejlesztése valamint megvalósíthatóságuk értékelése.

A dolgozat kettős célkitűzéssel készült. Egyrészt a Magyar Távközlési Vállalat távközlési szakemberei számára szeretnénk a “hálózatmegbízhatóság” gyűjtőnév alá tehető nagyon kiterjedt ismerethalmaz egy bizonyos szintű áttekintését nyújtó ismertetését adni, melynek segítségével felmérhető, hogy az elektromos alkatrészek meghibásodását okozó kémiai folyamatoktól a szolgáltatás nyújtás beruházás, megtérülés, stb. “hálózatmegbízhatósági” vonatkozásig terjedő skáláról milyen szempontok alapján, mely elemeket értékeltük a hálózattervezési folyamat szempontjából figyelemreméltónak. Másrészt a dol-

gozat célja az is, hogy kijelölje a témakörben a potenciális fejlődési irányokat, azaz figyelmet szenteltünk a látható közeljövő átviteli módszereinek (összetettebb védelmi módszerek) megfelelő számítási eljárások ismertetésére is.

**A dolgozat célkitűzése kizárólag az átviteli hálózat megbízhatósági minősítése, ezért a dolgozat nem foglalkozik azzal a sokkal összetettebb problémával, hogy mit lehet mondani az átviteli és a forgalmi működés eredőjeként adódó minősítő paramétereiről, mint például a kiszolgálóképességről.**

A következő fejezetekben először a három említett szempontrendszer ismertetése található. A 2. fejezetben a témakörben fellelhető szabványok, ajánlások, a 3. fejezetben a szolgáltatók, üzemeltetők lehetőségei és céljai, míg a 4. és 5. fejezetekben az alkalmazható modellezési eljárások, és azok lehetséges alkalmazási módszerei kerülnek bemutatásra. Végül a 6. és a 7. fejezetekben az elkészült program kidolgozásának motivációit, működését és felhasználói ismereteit összegezzük.



## 2. fejezet

# Ajánlások

A hagyományos szabványok, melyek ma már csak ajánlások mivel kötelező erejük hivatalosan megszűnt, azt a célt hivatottak szolgálni, hogy a különböző szakterületeken a más-más gyártó és szolgáltató által nyújtott termékek lehetőleg kompatibilesek legyenek egymással és így a felhasználóknak ne legyenek problémáik a termékek helyettesíthetőségével és az együttműködtethetőségével. Ezeket az ajánlásokat épp az előbb említett okok miatt a gyártók és a szolgáltatók messze menőleg figyelembe szokták venni, ugyanis csak így maradhatnak meg a gazdasági életben megszerzett pozíciójukban.

Az ajánlásoknak két eltérő típusa létezik. Az egyik a *de facto* típusú ajánlás, mely egy-egy szakterületen a jelentős gyártók által már közösen elfogadott és alkalmazott jellemzőket és értékeket utólag teszi hivatalosan is elfogadottá. A másik a *de jure* típusú ajánlás, mely egy-egy új szakterületen a még fejlesztés alatti stádiumban igyekszik konkrétumokat meghatározni, hogy mire a tömeges termék előállításra kerül a sor, addigra ezeknek a jellemzői egyértelműen meghatározottak legyenek.

Természetesen ezek az ajánlások nem csak konkrét gyártmányok esetén léteznek, de a különböző — főleg az együttműködés köteles — szolgáltatások esetén is.

A következőkben a távközlési terület egyik jelentős ajánláscsoportja kerül részletesebb ismertetésre, a hálózatok megbízhatósági paramétereinek bemutatásával a volt CCITT szabványok és a meglévő ITU-T ajánlások alapján. A bemutatott jellemzők a tanulmány és a bemutatott megbízhatósági téma szempontjából fontosak és nagyrésztük a tanulmány további részében is alkalmazásra kerül. A hálózat megbízhatóságát az ajánlások alapján több jellemző segítségével

vel értékelhetjük. Ilyen jellemzők lehetnek a hálózat adott részeinek megbízhatóságát leíró értékelések például pont-pont, pont-multipont, multipont-multipont összeköttetések vagy üzenetszórás esetére. Ezek eltérő szempontok szerint veszik figyelembe az üzemi működés, a védelem és a meghibásodások adatait. A bemutatott ajánlás elemeket a tanulmány szempontjából csoportosítottuk, a különböző felhasználási területek szerint. Ezek jellemzően az egyszerű, egysíkú sima átviteli rendszerek, és az összetett hálózatok, melyeket az egyszerűbb és jobb kezelhetőség miatt az ajánlások valamilyen hierarchikus modellel kezelnek. Az egysíkú rendszereknek léteznek speciálisan kiemelten kezelt részei is, melyekre külön ajánlásokat is definiálnak esetenként. Ezekből is mutat egy példát a tanulmány ezen fejezete, mely az egysíkú átviteli rendszerek bérelt vonali összeköttetésére vonatkozik.

Az ajánlások a szolgáltatás-minőség és megbízhatóság témájában olyan paramétereket definiálnak a hálózatokon, melyek segítségével leírható egy hálózat egyes részeinek rendelkezésre állása, meghibásodási valószínűsége és egyéb megbízhatósági jellegű jellemzője.

A fejezetben felhasznált ajánlások a különböző témákhoz a következők:

- **G.106** Megbízhatósági témakörhöz
- **G.821, G.826, I.356** Átviteli és hibatűrő képességek jellemzőinek témaköre
- **E.862** Szolgáltatás minőségi témakör
- **G.803** Rétegelt architektúrák témaköre

## 2.1. Egyszerű (egysíkú) átviteli hálózatok ajánlásai

A következőkben az egyszerű átviteli rendszerekkel kapcsolatos ajánlások alapján mutat be a tanulmány néhány definíciót és az ajánlásokban megadott számítási módot illetve a jellemzők tipikus és kritikus értékeit.

Az ajánlások átfogó céllal készültek, így a bennük foglaltak is sok területen alkalmazhatók. Ezért az ajánlást felhasználónak mindig konkretizálni kell, hogy az ajánlásban foglaltakat milyen konkrét valós eszközre vagy szolgáltatásra vonatkoztatja, és milyen értékeket vár el a jellemzőkkel kapcsolatban.

Egyes ajánlások meghatároznak ilyen szolgáltatásokat és tipikus értékeket a leggyakoribb eszközökre és szolgáltatásokra, de az ajánlások felhasználhatók ezekben nem említett más területeken is, a fent említettek figyelembe vételével.

Ezen módszer következménye például, hogy a következőkben számos esetben felhasznált *elem* szó alatt az alkalmazástól függően kell bármilyen elemet, gyártmányt vagy más objektumot (például szolgáltatást) érteni, amire az ajánlás vonatkozik, vagy vonatkozhat. Például a később bemutatott megbízhatósági definíció melyet egy elemre definiáltak, vonatkozhat egy berendezésre, egy berendezés egy részére, egy teljes hálózatra, a hálózat egy kiemelt részére stb. az alkalmazás során megadott információk szerint melyek az ajánlás aktuálisan pontos értelmezését segítik.

A bemutatott ajánlások tartalmát a témakörök szerint csoportosítottuk. Egyes jellemzők, értelem szerint több helyen is szerepelnek, mert témájuk több eltérő területhez is kötődik.

### 2.1.1. Alapfogalmak

**Elem** (*item/entity*): Minden elem, szerkezet, alrendszer, működési egység, berendezés vagy rendszer, melyet egyénileg meg lehet határozni.

Megj.: Valamely elem összetevődhet hardverből, szoftverből vagy mindkettőből és tartalmazhatja a személyzetet is.

**Mérhető mennyiség/mérték** (*measure*): Valószínűségi változó vagy véletlen folyamat leírására használt függvény vagy számérték.

Megj.: Valószínűségi változóra vonatkozó mérhető mennyiségekre példák az eloszlásfüggvény és az átlag.

**Működési mód** (*functional mode*): Az elem lehetséges, teljes funkciókészletének részkészlete.

Megj.: Egy elem ajánlásokban definiált állapotai a későbbiekben részletesen is bemutatásra kerülnek.

**Javított elem** (*repaired item*): Javítható elem, melyet meghibásodás után megjavítanak.

Megj.: A gyakorlatban a javítható elem életét egy olyan függvénnyel lehet leírni, mely figyelembe veszi az elem életperiódusát mely két fő részből áll: az üzemi működési részből és a működés képtelen részből. A fő részeket további alrészekre szokták osztani, melyek egy részének ajánlásbeli

definíciói az Időfogalmak fejezetben megtalálhatók. Ezeknek az időknek a becslésére törekszik a szolgáltató a tervezés során, mert ezzel lehet előre számítani a hálózat különböző állapotainak bekövetkezési valószínűségét, mely a megbízhatósági számításban nagy szerepet játszhat.

**Nem javított elem** (*non-repaired item*): Elem, amelyet meghibásodás után nem javítanak meg.

Megj.: Nem javított elem lehet javítható vagy nem javítható. Ezen elem élettartama a javított elem megjegyzésében említett függvény szerint a következő képpen alakul: a fenti függvénynek egy periódusából áll, melynek üzemén kívüli része a hiba beálltától kezdődően a végtelenbe nyúlik.

**Szolgáltatás** (*service*): Valamely szervezet részéről a felhasználónak felkínált funkcióellátási készlet.

Megj.: A szolgáltató, a felhasználó felé ezen a ponton törekszik a minél megbízhatóbb elérés és szolgáltatás biztosítására, mert ekkor lesz a többi szolgáltatóval versenyképes, és így tudja megtartani és növelni az ügyfelei számát, mely alapvető érdeke.

### 2.1.2. Képességek

**Átviteli képesség** (*transmission performance*): A távközlési rendszer azon képessége, hogy a számára felajánlott (általánosan vett) jelet adott feltételek között, hűen visszaadja, amikor a rendszer üzemképes.

**Használhatósági képesség** (*availability performance*): Az elemnek az a képessége, hogy — az esetleg szükséges külső eszközök meglétekor — adott időpontban vagy adott időközön belül bármely időpontban a kívánt működés megvalósítására alkalmas.

Megj.: Ez a képesség a megbízhatósági, fenntarthatósági (karbantartás- és a fenntartást támogató) karbantartás ellátási képességeknek az elemre vonatkoztatott összetett szempontjaitól függ. — Az elem definíciójának pontosan meg kell adnia, melyek az annak szempontjából külsőnek tekintett eszközök. — A használhatósági képesség számszerű mértékeként a használhatóságot használják.

**Kapacitás/teljesítőképesség** (*capability*): Az elemnek az a képessége, hogy adott mértékű igényt kielégítsen, adott belső feltételek mellett.

Megj.: Belső feltétel például a hibás és hibátlan részelemek bármely adott kombinációja. Tehát a gyakorlatban ez a mutató azt jelenti, hogy az elem adott állapotában mekkora mennyiségű igény továbbítására vagy kiszolgálására képes.

**Megbízhatósági képesség** (*reliability performance*): Valamely elemnek azon képessége, hogy adott körülmények között, adott időintervallumban a kívánt feladatot teljesíti.

Megj.: Általában azt feltételezzük, hogy az adott időintervallum elején az elem a kívánt feladat teljesítésére alkalmas állapotban van. — A megbízhatósági képesség számszerű mértékeként a megbízhatóságot használják.

**Működőképesség** (*dependability*): A használhatóság és befolyásoló tényezőinek leírására használt gyűjtőfogalom, mely kiterjed a megbízhatósági, fenntarthatósági/karbantarthatósági és fentartást támogató/karbantartásellátási képességek összefoglalására.

Megj.: A működőképesség fogalmat csak általános leírásban használjuk, nem mennyiségi fogalomként.

**Szolgáltatás elérhetősége** (*service accessibility performance*): A szolgáltatásnak az a képessége, hogy a felhasználó igénye esetén annak felmerülésekor meghatározott türésekkel és más adott feltételekkel elérhető.

Megj.: Ez figyelembe veszi a szóbanforgó rendszer átviteli toleranciáját és a terjedési képesség, a forgalomleboncolási képesség és a használhatósági képesség összesített szempontjait. Sok esetben a hálózaton belül ezt nem konkrétan egyes felhasználóra adják meg, hanem általánosan azt definiálják, hogy az idő hány százalékában a felhasználók hány százalékának kell tudnia az adott szolgáltatást — igény esetén — elérni.

**Szolgáltatás minősége** (*quality of service*): A szolgáltatási képességek azon együttes hatása, mely a szolgáltatás felhasználójának elégedettségi fokát meghatározza.

Megj.: A szolgáltatás minőségét a szolgáltatás támogató képesség, a szolgáltatás működtethetősége, a kiszolgáló képesség, a szolgáltatás teljessége és más specifikus tényezők egyesített hatásai jellemzik.

**Szolgáltatás működtethetősége** (*service operability performance*): A szolgáltatásnak az a képessége, hogy a felhasználó sikeresen és könnyen tudja működtetni.

**Szolgáltatás támogató képesség** (*service support performance*): Valamely szervezetnek szolgáltatásnyújtó és annak használatát megkönnyítő képessége.

**Szolgáltatás teljessége** (*service integrity*): Annak a mértéke, ahogy az egyszer megkapott szolgáltatást további minőségromlás nélkül biztosítják.

### 2.1.3. Események, állapotok

**Belső eredetű működésképtelen állapot** (*down state*): Az elem azon állapota, melyet valamely hiba fennállása vagy valamely elvárt funkció ellátásának megelőző karbantartás végzése miatt lehetséges képtelensége jellemez.

Megj.: Ez az állapot használhatósági képességre vonatkozatható.

**Belső eredetű üzemképes állapot** (*up state*): Az elem azon állapota, melyet az jellemez, hogy elvárt funkcióját képes teljesíteni feltételezve, hogy az esetleg szükséges külső erőforrások és eszközök rendelkezésre állnak.

Megj.: Ez az állapot használhatósági képességre vonatkozatható.

**Eltérés** (*error*): Eltérés a számított, megfigyelt vagy mért érték vagy állapot és a megfelelő valóságos, előirt vagy elméleti érték vagy állapot között.

Megj.: Az adatátvitel területén a hazai nyelvhasználatban a "hiba" elnevezés — pontosabban a "bithiba" — használata terjedt el.

**Elsődleges meghibásodás** (*primary failure*): Az elem olyan meghibásodása, melynek közvetett vagy közvetlen oka nem valamely másik elem hibaállapota vagy meghibásodása.

Megj.: Hibaterjedés esetén tipikusan ennek ellenkezője fordul elő, valamely meghibásodott elem hibája a hálózatra olyan hatással van, hogy annak más elemei is kiesnek a normál üzemi működésből.

**Hiba** (*fault*): Az elem képtelensége a megkívánt feladat teljesítésére, leszámítva a megfelelő karbantartásból, külső eszközök hiányából vagy valamilyen tervszerű akcióból adódó képtelenséget.

Megj.: A hibaállapot gyakran magának az elem meghibásodásának a következménye, de fennállhat előzetes meghibásodás nélkül is.

**Hiba okozta üzemkiesés** (*faulty state*): Az elem azon állapota, melyet valamely hiba fennállása jellemez.

**Hibás** (*faulty*): Valamely elem azon tulajdonsága, hogy hibás állapotban van.

**Katasztrofális meghibásodás** (*cataleptic failure/catastrophic failure*): Teljes működésképtelenséget eredményező váratlan meghibásodás.

**Kritikus állapot** (*critical state*): Az elemnek az az állapota, amely jelentős anyagi károkat vagy személyi sérüléseket okozhat, illetve más megengedhetetlen következményekkel járhat.

Megj.: A kritikus állapot nem szükségszerűen, de lehet kritikus hiba következménye.

**Kritikus hiba** (*critical fault*): Olyan hiba, mely jelentős anyagi károkat vagy személyi sérüléseket okozhat, illetve más megengedhetetlen következményekkel járhat.

**Lényeges meghibásodás** (*relevant failure*): Olyan meghibásodás, melyet figyelembe kell venni a vizsgálati vagy üzemeltetési eredmények, és megbízhatósági jellemzők számításánál.

Megj.: A figyelembe vétel kritériumait meg kell adni.

**Lényegtelen meghibásodás** (*non-relevant failure*): Olyan meghibásodás, melyet nem kell figyelembe venni a vizsgálati vagy üzemeltetési eredmények, és megbízhatósági jellemzők számításánál.

Megj.: A kizárás kritériumait meg kell adni.

**Meghibásodás** (*failure*): Az elem azon képességének megszűnése, hogy valamely elvárt feladatot teljesítsen.

Megj.: Meghibásodáskor az elem hibaállapotba jut.

**Működésképtelen állapot** (*disabled state*): Az elemnek az az állapota, melyben bármely okból nem képes ellátni valamely megkívánt funkcióját.

**Működő állapot** (*operating state*): Az az állapot, amikor az elem éppen valamely elvárt funkcióját végzi.

**Nem kritikus hiba** (*non-critical failure*): A kritikus meghibásodástól eltérő meghibásodás.

**Minőségromlás/Rendellenességek** (*defects*): Állapot jellegű gyűjtőfogalom, mely a gyakorlatban legtöbbször minőségromlás elnevezéssel szerepel.

**Részleges hiba** (*partial fault*): Az elem teljes hibától különböző hibája.

**Súlyos hiba** (*major fault*): Nagy fontosságúnak ítélt funkciók egyikét sújtó hiba.

Megj.: Az üzemi gyakorlat ezt a hibát, pontosabban hibajelzést gyakran sürgősnek nevezi.

**Részleges meghibásodás** (*partial fault*): Meghibásodás, mely abban nyilvánul meg, hogy az elem nem képes elvégezni bizonyos funkcióit, míg másokat igen.

**Tartós hiba** (*persistent failure/permanent failure/solid failure*): Az elem olyan hibája, mely a javító karbantartás műveletének végrehajtásáig fennáll.

**Teljes hiba** (*fault*): Olyan hibaállapot, amelyet az elem minden megkívánt funkciójának teljesítésére vonatkozó képtelenség jellemez.

**Üzemképes állapot** (*abile state*): Az elemnek az az állapota, amikor valamely elvárt funkcióját képes teljesíteni.

**Váratlan meghibásodás** (*sudden failure*): Olyan meghibásodás, melynek előrejelzését előzetes vizsgálat vagy ellenőrzés nem teszi lehetővé.

#### 2.1.4. Fenntartás, karbantartás

**Felügyelet** (*supervision*): Manuálisan vagy automatikusan megvalósított tevékenység, melynek feladata az elem állapotának megfigyelése.

Megj.: Automatikus felügyelet az elemen kívül vagy azon belül valósítható meg.

**Fenntartás/Karbantartás** (*maintenance*): Minden olyan műszaki és adminisztratív tevékenység kombinációja, beleértve a felügyelet tevékenységét is, melynek az a feladata, hogy valamely elemet visszahelyezzen abba az állapotba, vagy valamely elemnek fenntartsa azt az állapotát, amelyben lehetséges számára a tőle elvárt funkció teljesítése.



**Funkciócsökkentő fenntartás/karbantartás** (*function degrading maintenance*): Olyan fenntartási művelet, mely az elem elvárt funkcióinak egyikét-másikat korlátozza, de nem vezet valamennyi funkció elvesztéséhez.

**Helyreállítás** (*restoration*): Az az esemény, amikor az elem meghibásodás után visszanyeri elvárt funkcióinak teljesítéséhez szükséges képességét.  
Megj.: A fogalom nem azonos a védelem témakörében használt *restoration* védelmi típussal.

**Hibafelismerés** (*fault recognition*): Az az esemény, amikor egy hiba fennállását észreveszik.

**Hibajavítás** (*fault correction*): A hibahely meghatározása utáni tevékenységek összessége a hibás elem azon képességének visszaállítása érdekében, hogy az elvárt funkcióját teljesíteni tudja.

**Hibameghatározás** (*fault diagnostic*): A hiba felismerése, a hiba helyének meghatározása és a hiba okának azonosítására megvalósított műveletek összessége.

### 2.1.5. Időfogalmak

**Állandó meghibásodási intenzitású időszak** (*constant failure intensity period*): Javítható elem élettartamának az a lehetséges szakasza, amely alatt a meghibásodási intenzitás közelítőleg állandó.

Megj.: Minden különleges esetben pontosan meg kell adni, hogy mit jelent a közelítőleg állandó kifejezés.

**Első meghibásodásig eltelt működési idő** (*time to first failure*): Az elem működési időinek összegzett időtartama, az elem üzemképes állapotának kezdetétől az első meghibásodásig.

**Hasznos élettartam** (*useful life*): Az az időtartam, mely adott körülmények között, adott időpontban kezdődött és akkor fejeződik be, ha a meghibásodási intenzitás elfogadhatatlanná válik, vagy ha az elem meghibásodása után javíthatatlannak minősül.

**Helyreállítási idő** (*time to restoration*): Az az időintervallum, mely alatt az elem meghibásodás miatt van üzemkiesési állapotban.

Megj.: A helyreállítási idő lényegében a hibaállapot fennállásának időtartama, amely a meghibásodástól a működőképes állapotba való átmenet pillanatáig tart.

**Kívánt idő** (*required time*): Az az időtartam, mely alatt valamely elem felhasználója elvárja, hogy az elem a megkívánt feladatát ellátni képes állapotban legyen.

**Meghibásodásig eltelt idő** (*time to failure*): Valamely elem működési időinek összegzett időtartama a javító karbantartási művelet utáni működésképtelen állapotból a működőképes állapotba való átmenet pillanatától a következő meghibásodásig.

**Meghibásodások közti idő** (*time between failure*): javított elem egymást követő két meghibásodása közötti naptári időtartam.

Megj.: A naptári időtartamon belül figyelembe vett működésen kívüli időket meg kell határozni.

**Meghibásodások közötti üzemidő** (*operating time between failures*): Valamely javított elem működési időinek összegzett időtartama két, egymást követő meghibásodás között.

**Működési idő** (*operating time*): Az az időtartam, mely alatt valamely elem működő állapotban van.

**Működésen kívüli idő** (*non-operating time*): Az az időtartam, mely alatt valamely elem működésen kívüli állapotban van.

**Működésképtelen idő/üzemkiesési idő** (*disabled time*): Az az időtartam, mely alatt valamely elem működésképtelen állapotban van.

Megj.: Az üzemkiesési idő a működésképtelen idő megkívánt időn belül eső része.

**Üzemképes idő** (*up time*): Az az időtartam, mely alatt valamely elem belső eredetű üzemképes állapotban van, függetlenül attól, hogy az üzemeltetéshez szükséges külső eszközök és erőforrások rendelkezésre állnak-e vagy sem.

**Üzemkiesési idő** (*down time*): Az az időtartam, amely alatt az elem üzemkiesés állapotában van.

Megj.: Üzemkiesést jelent valamely hiba fennállása, vagy a megelőző karbantartás miatti üzemszünet.

### 2.1.6. Szolgáltatásra vonatkozó mértékek, képességek

**Átlagos hozzáférési késleltetés** (*mean access delay*): Előírt tűréseken belül és egyéb adott üzemeltetési körülmények között annak az időtartamnak a várható értéke, amely a távközlő hálózat használójának első hívás kísérlete és azon időpont között eltelik, amikor a felhasználó előri a kívánt másik felhasználót vagy szolgáltatást.

**Átviteli képességek fajtái** (*transmission performance*): bit hibaaarány, tévesztésmentes másodpercek.

**Befejezési arány** (*completion ratio*): A befejezett híváskísérletek arány az összes híváskísérletek számához képest, a hálózat adott pontján mérve.

**Bit hibaaarány** (*bit error ration /BER/*): A bit hibák számának aránya, az adott idő intervallumban átvitt bitek összes számához.

#### Hálózati összeköttetés-hibavalószínűség hosszúidejű átlaga

(*long-term average network connection failure probability*): Az összeköttetés-hozzáférhetőség használatos mértéke. A későbbiekben definiált összeköttetés-hozzáférési valószínűség komplementere.

**Kiszolgálási képesség fajtái** (*seveability performance*): befejezési arány, sikeres szolgáltatás-befejezés valószínűsége.

**Megszakadások átlagos időtartama** (*mean interruption duration*): A megszakadások időtartamának várható értéke.

**Megszakadások közötti átlagidő** (*mean time between interruptions*): Az egymást követő megszakadások közötti idő várható értéke.

**Megszakadás mértékei** (*interruption related measures*): megszakadások átlagos időtartama, megszakadások közötti átlagidő.

**Sikeres szolgáltatás-befejezés valószínűsége** (*probability of succesful service completion*): Annak a valószínűsége, hogy az összeköttetés fel tud épülni kielégítő üzemeltetési körülmények között és fenn tud maradni adott időtartamig.

**Szolgáltatás hozzáférhetősége** (*service accessibilty*): Annak a valószínűsége, hogy a szolgáltatás megkapható előírt tűréseken belül és egyéb adott üzemeltetési feltételek között, amikor a felhasználó igényli.

**Téves másodpercek/sérült másodpercek** *errored seconds /ES/*: Azok a másodpercek melyekben bithiba történt az átvitel során.

Megj.: A súlyosan sérült másodpercek *severely errored seconds* fogalmát szokták még az átvitel bithiba számának nagysága szerint használni ebben a kérdéskörben. — Az ajánlások bizonyos szolgáltatásokra és átviteli módokra konkrét számadatokat adnak meg ezen jellemzők értékeire. Erre mutat példát a következő (2.1.) táblázat a nemzetközi ISDN kapcsolatokra vonatkozó referencia értékekkel.

Minőségi jellemző	Definíció
Csökkent értékű percek	A vizsgált egy percnyi intervallumok kevesebb mint 10%-ban rosszabb a BER értéke mint $1 \cdot 10^{-6}$
Súlyosan sérült másodpercek	A vizsgált egy másodperces intervallumok kevesebb mint 0.2%-ban rosszabb a BER értéke mint $1 \cdot 10^{-3}$
Sérült másodpercek	Az vizsgált egy másodperces intervallumok kevesebb mint 8%-ban van bármilyen hiba

2.1. táblázat: Minőségjellemzők nemzetközi ISDN kapcsolatokra

**Tévesztésmentes másodpercek** (*error free seconds /EFS/*): Adott időtartamban azon egy másodperces idők számának aránya az összes egy másodperces idő számához, amelyekben hibás bitek nem érkeztek.

Megj.: Az időtartam hosszát szükséges meghatározni.

### 2.1.7. Elemmel kapcsolatos jellemzők

**Aszimptotikus átlagos használhatatlanság** (*asymptotic mean unavailability*): A  $(t_1, t_2)$  időszakon tekintett átlagos használhatatlanság határértéke, miközben  $t_2$  a végtelenhez tart — feltéve, hogy ez a határérték

létezik. Jele:  $\bar{U}$ , kapcsolata az átlagos használhatatlansággal a következő:

$$\bar{U} = \lim_{t_2 \rightarrow \infty} \bar{U}(t_1, t_2)$$

Megj.: Ha a határérték létezik, akkor mindig független a  $t_1$  időpont megválasztásától. — Az átlagos használhatatlanság definíciója a későbbiekben megtalálható.

**Aszimptotikus átlagos használhatóság** (*asymptotic mean availability*): A  $(t_1, t_2)$  időszakon tekintett átlagos használhatóság mértéke miközben a  $t_2$  a végtelenhez tart — feltéve, hogy a határérték létezik. Jele:  $\bar{A}$ , összefüggése az átlagos használhatósággal:

$$\bar{A} = \lim_{t_2 \rightarrow \infty} \bar{A}(t_1, t_2)$$

Megj.: Ha a határérték létezik, akkor mindig független a  $t_1$  időpont megválasztásától. — A fogalmat rendszerint megbízhatósági modellekben használják. — Az átlagos használhatóság definíciója a későbbiekben megtalálható.

**Aszimptotikus használhatatlanság** (*asymptotic unavailability*): A pillanatnyi használhatatlanság határértéke, ha az idő tart a végtelenhez, — feltéve, hogy ez a határérték létezik. Jele:  $U$ . A definíció a behelyettesített időfogalmaktól függően kétféleképpen értelmezhető:

$a$ , gyártó szemléletű, vagy abszolút használhatatlanság ( $U_a$ ), mely a hiba és a megelőző karbantartás okozta kiesési időket tartalmazza,

$b$ , a felhasználó szemléletű használhatatlanság ( $U_u$ ), melyet a hiba, a megelőző karbantartás és a külső erőforrások következtében előálló kiesési idők határoznak meg (tekintettel arra, hogy a felhasznált nem érdekli a használhatatlanság oka).

Megj.: Bizonyos feltételek mellett, mint pl. ha állandó az elem meghibásodási rátája, helyreállítási rátája és a külső erőforrások meghibásodási rátája, akkor  $U$  a következő képpen határozható meg:

$$U_a = \frac{MDT}{MUT + MDT}$$

$$U_u = \frac{MDT + MEDT}{MUT + MDT}$$

ahol  $MUT$  az átlag belső eredetű üzemképes idő,  $MDT$  az átlag belső eredetű kiesési idő,  $MEDT$  az átlag külső eredetű működésképtelen idő.

**Aszimptotikus használhatóság** (*asymptotic availability*): A pillanatnyi használhatóság átlagértéke, ha az idő tart a végtelenhez, — feltéve, hogy ez a határérték létezik. Jele  $A$ . A definíció a behelyettesített időfogalmaktól függően kétféle képpen értelmezhető:

a, gyártó szemléletű, vagy abszolút használhatóság ( $A_a$ ), mely a hiba és a megelőző karbantartás okozta kiesési időket tartalmazza,

b, a felhasználó szemléletű használhatóság ( $A_u$ ), melyet a hiba, a megelőző karbantartás és a külső erőforrások következtében előálló kiesési idők határoznak meg (tekintettel arra, hogy a felhasználót nem érdekli a használhatatlanság oka).

Megj.: Bizonyos feltételek mellett, mint pl. ha állandó az elem meghibásodási rátája, helyreállítási rátája és a külső erőforrások meghibásodási rátája, akkor  $A$  a következő képpen határozható meg:

$$A_a = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$A_u = \frac{MUT - MEDT}{MUT + MDT}$$

ahol  $MUT$  az átlag belső eredetű üzemképes idő,  $MDT$  az átlag belső eredetű kiesési idő,  $MEDT$  az átlag külső eredetű működésképtelen idő.

**Átlagos belső eredetű működőképes idő** (*mean up time /MUT/*): A gyártmány belső eredetű (vagyis az üzemeltetés külső feltételeitől független) működőképes állapota időtartamának várható értéke két meghibásodás között, vagy az első meghibásodásig.

Megj.: A belső eredetű működőképes állapot értelmezése két féle lehet: hibamentes állapot; vagy működőképes, de nem szükségképpen hibamentes állapot.

**Átlagos belső eredetű üzemkiesési idő** (*mean down time /MDT/*): A hibaállapot vagy a funkció-leállító (funkciócsökkentő) megelőző karbantartás időtartamának várható értéke alkalmanként.

Megj.: A belső eredetű üzemkiesés értelmezése kétféle lehet: belső eredetű működésképtelen állapot; vagy csökkentett működésképes állapot.

**Átlagos halmozott belső eredetű működőképes idő** (*mean accumulated up time /MAUT/*): Egymást követő (hibás állapot vagy megelőző karbantartási tevékenység által megszakított) belső eredetű működőképes állapotok összegzett időtartamának várható értéke.

**Átlagos halmozott belső eredetű üzemkiesési idő**

(*mean accumulated down time /MADT/*): Egymást követő belső eredetű üzemkiesési állapotok összegzett időtartamának várható értéke.

Megj.: A MADT-nak és a MAUT-nak mindig ugyanarra az időintervallumra kell vonatkoznia.

**Átlagos használhatatlanság** (*mean unavailability*): A pillanatnyi használhatatlanság  $(t_1, t_2)$  időszakaszra számított integráljának időegységre eső része, vagyis a  $(t_1, t_2)$  időszakaszra vonatkozó átlagértéke. Jelölés:  $\bar{U}(t_1, t_2)$

Megj.: Az átlagos használhatatlanság és a pillanatnyi használhatatlanság közötti összefüggést a következő képlet adja:

$$\bar{U}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} U(t) dt$$

**Átlagos használhatóság** (*mean availability*): A pillanatnyi használhatóság  $(t_1, t_2)$  időszakaszra számított integráljának időegységre eső része, vagyis a  $(t_1, t_2)$  időszakaszra vonatkozó átlagértéke. Jelölés:  $\bar{A}(t_1, t_2)$

Megj.: Az átlagos használhatóság és a pillanatnyi használhatóság közötti összefüggést a következő képlet adja:

$$\bar{A}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} A(t) dt$$

**Átlagos helyreállítási idő** (*mean time to restoration /MTTR/*): A helyreállítási idő várható értéke.

Megj.: A helyreállítási idő a hibaállapot miatti összes üzemkiesési időt foglalja magában, ezért hiba-fennálási időnek is nevezhetjük. A helyreállítási idők MATÁV előírások szerinti várható értékei találhatóak az (2.2.) táblázatban.

**Átlagos javítási idő** (*mean repair time /MRT/*): A tényleges hibajavítási idő várható értéke.

**Átlagos meghibásodási intenzitás** (*mean failure intensity /MFI/*): A pillanatnyi meghibásodási intenzitás  $(t_1, t_2)$  időszakaszra számított integráljának időegységre eső része, vagyis a  $(t_1, t_2)$  időszakaszra vonatkozó átlagértéke. Jelölés:  $\bar{z}(t_1, t_2)$

Hálózatelem csoport megnevezése	L (óra)
Végberendezések	8,0
Helyi kapcsolóközpont, (kihelyezett fokozatok)	2,0 (4,0)
Primer kapcsolóközpont (tranzit központ)	1,0
Szekunder tranzitközpont	0,5
Helyi átviteli út, előfizetői áramkör és részei	8,0
Körzeti átviteli út	6,0
Helyközi átviteli út (tranzit ák. és részei)	4,0
Helyi átvivő berendezés	4,0
Körzeti átvivő berendezés	2,5
Helyközi átvivő berendezés	1,0

2.2. táblázat: Helyreállítási idők várható értéke

Megj.: Az átlagos és a pillanatnyi meghibásodási intenzitás közötti összefüggést a következő képlet adja:

$$\bar{z}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} z(t) dt$$

**Átlagos meghibásodási ráta** (*mean failure rate /MFR/*): A pillanatnyi meghibásodási ráta  $(t_1, t_2)$  időszakra számított integráljának időegységre eső része, vagyis a  $(t_1, t_2)$  időszakra vonatkozó átlagértéke. Jelölés:  $\bar{\lambda}(t_1, t_2)$

Megj.: Az átlagos és a pillanatnyi meghibásodási ráta közötti összefüggést a következő képlet adja:

$$\bar{\lambda}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt$$

**Első meghibásodásig eltelt működési idő átlagértéke** (*mean time to first failure /MTTFF/*): Az első meghibásodásig eltelt működési idő várható értéke.

**Használhatatlanság** (*unavailability*): = "aszimptotikus használhatatlanság"

**Használhatóság** (*availability*): = "aszimptotikus használhatóság"

**Hiba hatásmélysége** (*fault gravity/fault seriousness*): A gyártmány előírt műszaki teljesítőképességének a hiba által okozott csökkenése százalékban vagy viszonyzámban kifejezve. Jelölés:  $q$ .



Megj.: A lényegtelen hiba hatásmélysége nulla, míg a teljes meghibásodás által okozott hiba hatásmélysége 100%.

**Hibakapacitás** (*fault capacity*): A gyártmányban azonos funkció végzésére szolgáló elemek közül egyidejűleg megengedhető hibás darabszám, amely mellett a gyártmány műszaki teljesítőképessége még nem csökken az elvárt szint alá. Jelölés:  $r$  (out of  $n$ ).

Megj.: A hibakapacitás ( $r$ ) függ az azonos funkció végzésére szolgáló elemek számától ( $n$ ), a gyártmány pillanatnyi funkcionális teljesítményétől, a teljesítőképesség előírt küszöbszintjétől, valamint a gyártmány belső felépítési és működési struktúrájától.

Ezekén kívül szerepet kaphat még az alkalmazott védelmi megoldás rendszertechnikai megvalósítási módja is. A védelem esetenként beépített többlet kapacitással illetve berendezésekkel operál. Ekkor elképzelhető, hogy maximális üzemi kapacitás mellett is marad még a hálózatban vagy a vizsgált hálózat részben kihasználatlan kapacitás, amit a sérült esetben tud a hálózatmenedzsmen a kiesett kapacitások helyére üzembe állítani. Ebből láthatóan a hibakapacitás többek között erősen függ az alkalmazott védelemtől és annak fajtájától is.

**Megbízhatóság / Hibamentesség** (*reliability*): Annak a valószínűsége, hogy egy adott elem előírt funkcióját meghatározott feltételek között az adott  $(t_1, t_2)$  időszakaszban képes ellátni. Jelölés:  $R(t_1, t_2)$ .

Megj.: Feltételezzük, hogy az időszakasz kezdetén az elem olyan állapotban van, hogy képes az előírt funkció teljesítésére.

**Megbízhatósági képesség** (*reliability performance*): Gyűjtőfogalom.

Megj.: Az elem azon képessége, hogy adott felhasználási körülmények között, adott időszakaszban előírt funkcióját teljesíteni tudja. — A megbízhatósági képesség számszerű mértéke a megbízhatóság.

**Meghibásodásig eltelt működési idő átlagértéke** (*mean time to failure /MTTF/*): A meghibásodásig eltelt működési idő várható értéke.

**Meghibásodások közti átlagidő** (*mean time between failures /MTBF/*): Az egymást követő meghibásodások közt eltelt naptári idő várható értéke.

**Pillanatnyi használhatatlanság** (*instantaneous unavailability*): Annak a valószínűsége, hogy valamely gyártmány az adott  $t$  időpontban belső eredetű üzemkiesési állapotban van. Jelölés  $U(t)$ .

**Pillanatnyi használhatóság** (*instantaneous availability*): Annak valószínűsége, hogy valamely gyártmány az adott  $t$  időpontban belső eredetű működőképes állapotban van. Jelölés  $A(t)$ .

**Üzemkiesési időarány** (*down time ratio /DTR/*): Az átlagos halmozott belső eredetű üzemkiesési idő ( $MADT$ ) és az átlagos halmozott belső eredetű működőképes idő ( $MAUT$ ) összegéből képzett időalapnak az a hányada, amellyel a halmozott belső eredetű üzemkiesési idő tölt ki.

Megj.: Számítása:

$$DTR = \frac{MADT}{MAUT + MADT}$$

Nevezik még a kiesési időarány várható értékének is, és számítható a következő képpen is:

$$DTR = L \cdot n$$

ahol  $L$  az átlagos helyreállítási idő (MTTR), és  $n$  a közepes hibaaarány (MFR)

$DTR = 0.001 \cdot n \cdot L$  (%) ha  $L$  értéke óra/hiba,  $n$  száma pedig FIT (azaz  $n \cdot 10^9$  hiba/óra) mértékegységű.

A  $DTR$  tervezési célértéke: ne haladja meg az  $5 \cdot 10^{-3}$  abszolútértéket a szolgáltatások hozzáférési végpontjai közötti utakra. Egy hálózaton belül a  $DTR$  értékét a hálózat egyes részei között külön elosztják, hogy mely részre mennyi juthat a tervezés során számolt hálózati  $DTR$ -ből. A következő (2.3.) táblázatban egy MATÁV ajánlást mutatunk be a  $DTR$  kiosztására.

### 2.1.8. Vizsgálatokkal, adatokkal, megbízhatóság-tervezéssel és analízissel kapcsolatos fogalmak

**Állapot-átmenet diagram** (*state-transition diagram*): Olyan ábra, amely az elem lehetséges állapotait és ezen állapotok közt lehetséges egy lépéses átmeneteket mutatja.

Hálózat elem típusa	Előfordulása és hálózati szerepe	Egy elemre jutó DTR egységek száma	Ilyen elemekre az összeköttetés mentén kiosztott DTR egységek száma	Felhasznált DTR egységek száma az adott hálózat elem fajtájára, összesen
Végberendezés	2 db. végponton	2 (3)	4 (6)	4 (6)
Kapcsoló központ	2 db. helyi 2 db. primer 2 db. szekunder	5 3 2	10 6 4	20
Átviteli út	2 db. helyi előfizetői 2 db. körzeti 3 db. helyközi tranzit	12 8 4	24 16 12	52
Átvivő berendezés	2 db. helyi 2 db. körzeti 3 db. helyközi	5 1 1	10 2 3	15
Tartalék	eszközök vagy forg. irányítás elemei			9 (7)

2.3. táblázat: DTR felosztás a referencia összeköttetés mentén

**Előrejelzés** (*prediction*): Számítási eljárás valamely mennyiség előrejelzett értékének (értékeinek) meghatározására.

**Hibafa** (*fault tree*): Logikai állapotdiagram, amely megmutatja, hogy az elem egy meghatározott hibamódját a részegységek mely hibamódjai és milyen külső események eredményezhetik, külön-külön vagy együttesen.

**Hibatűrőképesség** (*fault tolerance*): Az elem azon tulajdonsága, amely képessé teszi az elemet valamely előírt funkciójának elvégzésére bizonyos részegységeinek adott hibái esetén is.

**Igénybevételi modell** (*stress model*): Matematikai modell, amely leírja, hogyan változik a gyártmány egy kiválasztott megbízhatósági jellemzője az adott igénybevételek függvényében.

**Megbízhatóság és karbantarthatóság szabályozása** (*reliability and ma-*

*intainability control*): Azoknak az üzemeltetési műszaki módszereknek és tevékenységeknek az összessége, amelyet az elem megbízhatósági és karbantarthatósági követelményeinek teljesítése érdekében alkalmaznak.

**Megbízhatóság-javítás** (*reliability improvement*): Folyamat, melynek célja a megbízhatóság-növekedés előmozdítása a szisztematikus hibák kiküszöbölése útján.

**Megbízhatóság növekedés** (*reliability growth*): Az elem megbízhatósági mutatójának fokozatos javulásával jellemzhető folyamat.

**Megbízhatósági blokkdiagram** (*reliability block diagram*): Olyan blokkdiagram, amely valamely összetett elem egy vagy több működési módjához rendelve megmutatja, hogy az egyes blokkok által képviselt részegységek vagy ezek kombinációjának hibái hogyan eredményezik az elem hibáját.

**Megbízhatósági és karbantarthatósági felügyelet** (*reliability and maintainability surveillance*): A megbízhatósági és karbantarthatósági követelmények teljesülését lehetővé tevő eljárások, módszerek, feltételek, termékek, folyamatok és adatelemzések elvégzése pillanatnyi helyzetének (státuszának) folyamatos megfigyelése a célkitűzések teljesítése érdekében.

**Megbízhatósági modell** (*reliability model*): Az elem megbízhatósági mutatóinak előrejelzésére vagy becslésére alkalmazott matematikai modell (vagy más, hasonló célra alkalmazott modell).

**Megfigyelt adatok** (*observed data*): Valamely elemre vagy folyamatra vonatkozó, közvetlen megfigyelés útján szerzett adatok.

**Referencia adatok** (*reference data*): Olyan adatok, amelyeket közmegegyezés szerint előrejelzésre és/vagy megfigyelt adatokkal való összehasonlításra lehet felhasználni.

Megj.: Például ezek az adatok használhatók annak jellemzésére, hogy az éppen vizsgált elem adott jellemzői alapján megfelel-e az ajánlásoknak, és így elfogadható-e.

**Tartalékolás** (*redundancy*): Valamely elemen belül egynél több - adott funkció elvégzésére szolgáló - eszköz megléte.

### 2.1.9. Mennyiségek statisztikai értelemmódosító jelzői, statisztikai fogalmak

**Átlag** (*mean*): Valamely valószínűségi változó várható értéke.

**Becslési eljárás** (*estimation*): Eljárás abból a célból, hogy valamely sokaság statisztikai modelljeként választott eloszlás paramétereire számértéket rendeljünk, a sokaságból származó mintán megfigyelt értékek alapján.

**Valószínűségi változó** (*random variable*): Olyan változó, amely egy meghatározott értékészletből bármely értéket felvehet és az értékek felvételéhez valószínűségeloszlás tartozik.

Megj.: A valóság jellemzésére igen jól használható, mert a valós életben az egyes események bekövetkezései biztosra nem jósolhatók, csak valamilyen valószínűséggel jellemezhetők.

**Véletlen folyamat/Sztochasztikus folyamat** (*random proces*): Időtől függő valószínűségi változók olyan együttese, ahol az egyes változók értékvételét többváltozós eloszlásoknak egy adott sorozata vezérli - a valószínűségi változók (értékeinek) összes lehetséges kombinációja esetén.

**Véletlen mennyiségek paraméterei** A valószínűség számítás szokásos alapfogalmai, mint például az eloszlás függvény, a sűrűség függvény, a momentumok, a valószínűség, a szórás, a p-quantilisek, stb., szintén alkalmazhatók a hálózatmegbízhatóság minősítésére. Ezek ismertetésétől e dolgozatban eltekintünk.

### 2.1.10. Összeköttetés fennmaradhatósági célkitűzések

**Hívásmegszakadás** (*cutoff call*): A korai bontás eseményének egyenértékű elnevezése. (A távbeszélő szolgáltatásra definiálták.)

**Hívásmegszakadási arány** (*cutoff call ratio*): A hívásmegszakadás valószínűsége a másodpercben megadott, átlagos tartásidőre vonatkoztatva.

**Hívásmegszakadás valószínűsége** (*probability of cutoff call*): A távbeszélő összeköttetés fennmaradásának jellemzésére szolgál. Az összeköttetés fennmaradhatóság komplementere.

### 2.1.11. Bérelt vonali összeköttetés

A következőkben bemutatott bérelt vonalra vonatkozó ajánlás, az egysíkú hálózatok kiemelten kezelt részeire mutat egy példát. Ezekre a részekre természetesen az általános ajánlások ugyan úgy vonatkoznak, mint a hálózat többi részére, de mivel a hálózat ezen területei valamilyen többlet tulajdonsággal rendelkeznek a hálózat egyéb részeihez képest, így megadhatók ezen átlagtól eltérő területekre vonatkozó ajánlások is. Ezek segítségével a hálózat ezen speciális részei is összeműködtethetővé tehetők az ajánlások betartása mellett.

**Bérelt áramkör pillanatnyi használhatósága** (*instantaneous availability of a leased circuit*): Annak a valószínűsége, hogy adott működési körülmények között valamely bérelt áramkör képes végrehajtani valamely adott funkciót, amikor azt az előfizető igényli.

## 2.2. Hierarchikus hálózatokat kezelő ajánlások

Az átviteli hálózatok felbontása hasonló részekre és ezen részek külön kezelése sok szempontból megkönnyítheti a tervező és a szolgáltató helyzetét. Egyrészt egyszerre mindig csak egy kisebb egységet kell figyelembe venni, másrészt sok esetben ezek a részek hasonlóan kezelhetők, így közel azonos leíró apparátussal lehet a különböző részeket kezelni. Ezért a nagy bonyolultságú hálózatok esetén érdemes arra törekedni, hogy valamilyen módon particionáljuk a hálózatot és ezeket a részeket külön tervezzük ill. elemezzük amennyiben lehetséges, természetesen a köztük lévő összefüggések figyelembe vételével. Ezek a részek különböző viszonyban állhatnak egymással. Lehetnek azonos szinten, de lehetnek egymáshoz képest alá, illetve fölé rendelt viszonyban is. Ezáltal tehát a hálózat rétegződhet, és az egyes rétegek is több alhálózatra, alrétegre oszthatók.

Azok az ajánlások nagy része mely képes a többrétegű szemléletű hálózatkezelésre, valamilyen átviteli módhoz (pl. SDH) kapcsolódik, mert ezen átviteli módok struktúrája például alapvető ok lehet egy fizikai hálózat réteges kezelésének. Ugyanis a fizikailag egysíkú központ és kábelrendszer az alkalmazott felhasználási mód miatt lesz felosztható összefüggő (alá és fölé, ill. egymásmellé rendelt) részekre.

A következőkben az ajánlások azon részeit mutatjuk be, melyek alapjai lehetnek egy általános hierarchikus hálózati kezelésnek is, az átviteli módtól viszonylag függetlenül. Először az alapfogalmak kerülnek bemutatásra, majd a hálózatmodellben is alkalmazható összefüggések.

**Átviteli hálózati réteg** (*transport network layer*): Olyan "topológiai elem", mely egyedül a továbbítandó igények egy részének eredetére és továbbítására vonatkozik.

Megj.: Egy átviteli hálózat az átviteli hálózati rétegekből épül fel. Mind-egyik réteg a felette levőnek szolgáltat továbbítandó igényeket és egyben felhasználja az alatta levő rétegtől kapott hasonló csomagokat. Ebben a kapcsolatban szervenek nevezik azt a réteget mely adja a csomagokat, és kliensnek azt amelyik fogadja és használja azokat.

**Alhálózat** (*sub-network*): Olyan "topológiai elem", mely az elvezetésre és a menedzsmentre van hatással. Részei a további alhálózatok és az azokat összekötő linkek, Tehát egy alhálózat további alhálózatokból állhat.

**Összeköttetés** (*link*): Olyan "topológiai elem" mely az egyes alhálózatok közötti fix kapcsolatot írja le, adja meg.

Megj.: Használható még az alhálózatok és az "*access group*"-ok közötti kapcsolat megadására is.

**Kapcsolódási pont** (*connection point*): Referencia pont, ahol a kapcsolódó elemek határán az egyik elem kimenete csatlakozik a másik elem bemenetéhez. A kapcsolódási pontot a rajta áthatladó információ tipizálja. A kétirányú kapcsolódási pont, két ellenkező irányú kapcsolódási pontból tevődik össze.

Megj.: A kapcsolódó elemeket a konkrét használathoz pontosan definiálni kell. (Lehetnek például kapcsolódó alhálózatok.)

**Hozzáférési pont** (*access point*): Referencia pont, ahol az alkalmazás kapcsolódhat az igény végződésekhöz. A hozzáférési pontot az alkalmazott kliens réteg rajta áthatladó információja határozza meg. A kétirányú hozzáférési pont két ellentétesen irányított hozzáférési pontból tevődik össze.

**Alkalmazás** (*adaptation*): Továbbítási eljárás, mely egy szerver és egy hozzátartozó kliens réteget alkalmaz. Az eljárás a kapcsolódási és a hozzáférési

pontok között definiálja a szerver/kliens kapcsolatot, így ezek határolják be az alkalmazási funkciót.

**Kliens/szerver** (*client/server*): Egy az alkalmazási eljárás során definiált társítás, ami hálózati rétegek közti viszonyt fejezi ki. A kliens/szerver kapcsolat a hálózati elemek körén kívül nem értelmezhető.

A következőkben SDH specifikus hálózati rétegek definíciója található:

**Kapcsolt hálózati réteg** (*circuit layer network*): Ez a hálózati réteget a telekommunikációs szolgálatok és a réteg hozzáférési pontjai között továbbított információra vonatkozik.

**Út hálózati réteg** (*path layer network*): Ez a hálózati réteg az útréteg hozzáférési pontjai között továbbított, a kapcsolt hálózati réteg által szolgáltatott információra vonatkozik.

**Átviteli eszköz hálózati réteg** (*transmission media layer network*): Ez a hálózati rétege a szakasz réteg hozzáférési pontjai között továbbított, az út réteg által szolgáltatott információra vonatkozik.

Megj.: Az átviteli eszköz réteg, eszköz függő lehet. — Tovább osztható a szakasz hálózati rétegre és a fizikai eszköz hálózati rétegre.

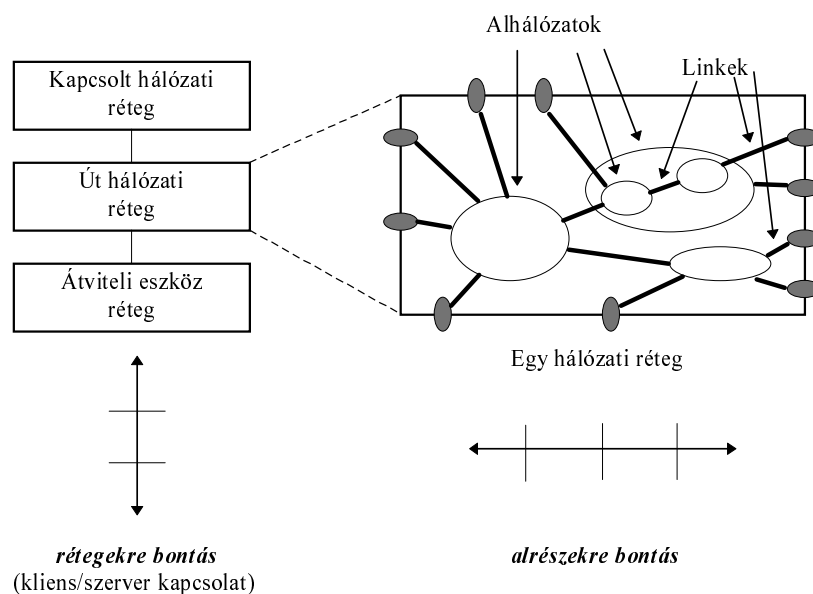
**Szakasz hálózati réteg** (*section layer network*): Ez a hálózati rétege a szakasz réteg hozzáférési pontjai között továbbított információra vonatkozik.

**Fizikai eszköz hálózati réteg** (*physical media layer network*): Ezt a hálózati réteget a szakasz réteg által támogatott aktuális optikai szálp, fém vezető pár, vagy rádió frekvencia határozza meg.

Az ajánlások ezen alapokra építkezve határozzák meg a hierarchikus hálózatok funkcionális architektúráit, és a hálózat topológiai ill. strukturális szerkezetét. Az átviteli módtól függő ajánlásokban nagyrészt a hálózatok védelmi megoldásai kapnak szerepet, esetleg a rendelkezésre állásuk lehetőségei az alkalmazott védelemtől függően, de a megbízhatósági információk és jellemzők nem kapnak direkt hangsúlyt. Ezeket a szolgáltatónak az egyedi esetekre lebontva van lehetősége értelmezni és definiálni, az egysíkú hálózatok definíciót figyelembe véve. Legegyszerűbb megoldás, ha egy az egyben értelmezi azokat, és nem veszi figyelembe a hálózat réteges felépítését.



Itt a hierarchikus hálózatokkal foglalkozó fejezet végén szeretnénk bemutatni, — kicsit a fő témánktól, a megbízhatóságtól eltekintve —, hogy az ajánlásokban definiált hálózati rétegek hogy is viszonyulnak egymáshoz. A két alapvető hálózati részre bontást a 2.1. ábra mutatja be. Ezek a hálózati réte-



2.1. ábra : Hálózati rétegek és alhálózatok viszonya

A hálózati rétegek definiálásának előnyei:

- Minden egyes hálózati réteg, hasonló funkciókkal írható le.
- Az egyes rétegek külön-külön könnyebb megtervezni, mint az egész hálózatot egyben.
- A menedzsment szempontjából is előnyös lehet.
- Az egyes rétegeknek saját védelmük, üzemeltetési és fenntartási rendszerük lehet, ezzel elülönülhetnek a többi rétegtől és azok hatásaitól.
- Egy adott réteget a többi rétegtől függetlenül lehet változtatni, átszervezni.
- Az egyes rétegek, egymástól függetlenül definiálhatók.

Az alhálózatok definiálásának fontossága:

- Egy rétegen belül szemléletesen megadja a hálózati struktúrát.
- A hálózat menedzsment és az operátorok számára jól elkülöníthető hálózati határokat jelentenek az alstruktúrák.
- Az útmenedzsment számára fontos lehet a független elvezetés vizsgálata szempontjából az elemek kapcsolata, melynek egyik jellemzője, hogy azonos alhálózatban vannak-e vagy sem.
- A hálózat jellemzők egész hálózatra vonatkoztatott értékeink kiosztásának az alapja lehet a részhálózatokra bontás.

Tehát a fentiekből látható, hogy a teljes hálózat rétegezése és particionálása sok előnnyel járhat, melyek kihasználása idő, energia és anyagi megtakarítást jelenthet a szolgáltatónak. Az ajánlásokban bemutatott lehetőségek sajnos még nem teljesen kidolgozottak a megbízhatóság témakörében, de alapjai lehetnek a további fejlődésnek.

### 2.3. Megjegyzések

Az előzőekben tipikus példákat láthattunk arra, hogy a gyakorlati életben használni kívánt hálózatokra milyen előírásokat tartalmaznak az ajánlások.

A széles körű alkalmazhatóság miatt ezek az ajánlások elég nagy szabadsági fokkal kerültek megfogalmazásra, azaz a konkrét értelmezés során az ajánlásokat alkalmazónak még számos paramétert konkretizálni kell. Igaz a legjellemzőbb felhasználási területekre léteznek az ajánlásokban is megfogalmazott konkrét paraméterek és referencia értékek, de sajnos ez nincs így az összes szóba jöhető alkalmazási területen. Ilyenkor konkrétan definiálni, kell, hogy mi az az objektum (elem) amire az ajánlás vonatkozik, és mely értékek teljesülését várja el az ajánlás alapján az üzemeltető és a felhasználó. Ezeken kívül azt is meg kell határozni, hogy az ajánlásban a vizsgálat során figyelt jellemzőt milyen módon lehet a konkrét objektumon értelmezni, és meghatározni. Ezek a felhasználó által meghatározható paraméterek különbözőek lehetnek az egyes szolgáltatók esetén, és így azonosan minősített eredmények jelenthetnek eltérő megvalósításokat is.

Az ajánlásokban megfogalmazott jellemzők különböző leíró erővel rendelkeznek az egyes — az adott ajánlásban szabályozni kívánt — elemek esetén. Egy átviteli hálózatot mint hálózatot igen nehéz jellemezni és értékelni. Az ajánlásokban megfogalmazott paraméterek is inkább a hálózat egyes részeit vizsgálják, vagy a hálózat adott pontjai közötti út jellemzőit, de ezek nem igazán elégségek az hálózat mint valami önnálló egész leírásához. Igaz, nehéz ilyen hálózat szintű leíró erővel rendelkező jellemzőket definiálni, hiszen a részek eredményei alapján kell valamilyen egész hálózatot jól értékelő állítást megfogalmazni.

Szintén nem elég egyértelműen definiált, hogy a hálózati szinten a hálózat útjait jellemző, az ajánlásokban megfogalmazott értékek, az összes út jellemzőinek valamilyen átlagát jelentik, vagy a legrosszabb esetet veszik figyelembe, esetleg más módon is értelmezhetők.

A paraméterek számítási módjai is eltérőek lehetnek az egyes esetekben a megfogalmazásuktól függően. Ezek alapján kérdéses, hogy mikor képesek gyakorlatban is egyértelműen jól használható konkrétumokat mondani egy hálózatról.

A megbízhatósági ajánlások esetén, kritikus kérdés, hogy a definiált jellemzők és számításuk képes-e, és milyen szinten képes kezelni a többrétegű hálózatokból architektúrális felépítéséből származó többlet információt. A védett hálózatoknál, a megbízhatósági vizsgálatok esetén, ha a gyakorlatban megvalósított hálózatról akar az üzemeltető információt kapni, akkor a védelem meglétének és megvalósítási formáinak a többlet információját is érdemes felhasználni a vizsgálat során. Az ajánlások ezeket a beépíthető és figyelembe vehető többleteket csak igen felszínesen tartalmazzák, ha tartalmazzák a megbízhatóság területén.

A rétegzett hálózatokra az ajánlások még nem igen adnak meg megbízhatósági jellemzőket, pontosabban olyanokat, melyek figyelembe veszik a hálózatnak azokat a többlet tulajdonságait, melyek a rétegzett felépítésből adódnak. Ezekre a hálózatokra többféle (a rétegezettséget is bekalkuláló) védelemet is definiálnak, de a megbízhatóságukat csak az egyszerűbb, egysíkú hálózatokéhoz hasonló módon közelítik meg az ajánlások.

Pedig sok esetben maga a rétegezettség ténye is már többletinformáció a

hálózatról mert egy ilyen hálózatot egysíkúnak is tekintve lesznek olyan jellemzői, melyek a hierarchikus felépítésből adódnak. (Tipikusan az egy részbe tartozó tagok közti igények lesznek pl. az igénymátrix sűrűsödési pontjai, és a részek közti transzfer központoknak (a HUB-oknak) lesz az átlagtól nagyobb átmenő forgalma. Ezt az információt a megbízhatósági vizsgálatban még akkor is szükséges volna kihasználni, ha lehetséges, és ha magát a rétegezettséget konkrétan nem is veszi figyelembe a számítási módszer.

## 2.4. Az absztrakt és a valós hálózatok kapcsolata

Az ajánlások ahhoz, hogy a valóságot átfogóan tudják leírni, modelleket alkalmaznak. Ezen modellek fő részei a valós hálózatok jellemző részinek feleltethetők meg, és így a modellek ezen részeiről szerzett információ a gyakorlatban alkalmazott hálózatok megfelelő részeiről is tájékoztatást adhat.

Az alkalmazott modell bonyolultsága arányos a valósághoz való közelségével. Minél több paraméterét és az ezek közti összefüggések minél nagyobb részét vesszük figyelembe a valós hálózatoknak, a számításához felhasznált modell annál összetettebb, és egyben nehezebben kezelhetőbb lesz, bár a szerzett eredmények várhatóan annál pontosabbak lesznek. Mivel az átviteli hálózatok igen sok összetevőből állnak, így az őket igazán pontosan leíró modellek gyakorlatilag kezelhetetlenek. Emiatt csak a hálózatok leglényegesebb részeit szokták különböző módokon figyelembe venni az ajánlásokban történő modellezésnél.

Gyakorlatilag az ajánlásokban is a gráfmodelleket szokták alkalmazni. Ennek a lényege röviden a következő: A hálózatok csomópontjai a gráf csomópontjai, a hálózatok átviteli rendszerei pedig a gráf élei. Ezeket különböző bonyolultságú állapotokkal lehet figyelembe venni, amik közül a legegyszerűbb ha ezek az elemek minden esetben két állapotúak, azaz vagy működő képesek vagy nem. Az ajánlások ezen hálózatmodelljei írják le a valós életben használt pl. PDH, SDH, ATM, ISDN hálózatokat.

A többrétegű hálózatok esetén az ajánlások a rétegelt architektúrák szintjeit valamilyen — általában kliens szerver — viszonyal jellemzik, aminek megfelelő kezelését és paramétereit az ajánlásban általánosan definiálják.

## 3. fejezet

# Szolgáltatói szempontok

Ebben a fejezetben arra a kérdésre keressük a választ, hogy az átviteli hálózat üzemeltetője, aki hálózatán átviteli (vagy átvitelre épülő) szolgáltatásokat nyújt, milyen paramétereket szeretne meghatározni, tervezői vagy üzemeltetői kérdésekre szeretne választ kapni, és ehhez milyen ismeretek, milyen “bemenő adatok” állnak rendelkezésére.

### 3.1. Szabványos paraméterek

A legkézenfekvőbb válasz erre a kérdésre persze az lenne, hogy az előzőekben ismertetett szabványos, nemzetközi ajánlásokban szereplő paramétereket szeretné a szolgáltató meghatározni. Sajnos azonban az ajánlások nagy része nem ilyen célkitűzéssel készült. A fentiek alapján látható, hogy a vonatkozó szabványok többsége számítási módszereket definiál, amelyek elég általánosak ahhoz, hogy az olyan nagy bonyolultságú rendszereket, mint a távközlő hálózatok építőelemeit, részeit és egészét tekintve is alkalmazhatóak legyenek.

Tipikusan a szabvány csak azt rögzíti, hogy ha egy elemnek, részhálózatnak, vagy hálózatnak definiálható a jó/elfogadható és a rossz/hibás állapota (és ez ráadásul a valóságban egyértelműen kiértékelhető), akkor milyen számítási módszerrel lehet a valóságos működés adatai alapján a kérdéses paramétert meghatározni. (Ez a paraméter azonban nyilván csak az adott jó és rossz állapot definíció mellett érvényes, így semmiféle információ tartalma nincs annak az állításnak, hogy egy hálózat például DTR paramétere XY, ha nincs mellette megadva a paraméterhez tartozó definíció rendszer.) Így tehát annyi DTR paraméter tartozhat egy hálózathoz, vagy hálózatrészhez ahány féle képpen definiálhatjuk a jó és rossz viselkedést.

A hálózat elemzés feladatát tovább bonyolítja, hogy az átviteli hálózatok-

nak összetett feladatokat kell ellátniuk, és a jó illetve rossz állapotok meghatározásánál az összes ellátandó feladat alapján kell minősíteni a rendszert. Például ha csak két igényt kell megvalósítania egy hálózatrésznek máris szembesülünk azzal a problémával, hogy önmagában nem egyértelműen eldönthető eseteket kell relációba állítanunk. Ha a hálózat egy adott hibaállapotában mindkét igényt 100%-osan elvezetjük a rendszer jó, és ha mindkettő elvezethetetlen, akkor a rendszer rossz, de mit mondjunk a két szélső helyzet között, például, ha mindkét igény 50%-osan vezethető el, vagy 0 illetve 100%-osan vagy 60 ill. 40%-osan, vagy 30% ill. 60%-osan, stb. Ebben a nagyon egyszerű esetben is meg kell határozni a szolgáltató prioritásait és toleranciáját a két igényre vonatkozóan, és csak ez alapján határozható meg a jó ill. rossz állapot definíciója. Két igény esetén még feltételezhető, hogy a szolgáltató meg tudja adni a kívánt prioritásadatokat, azonban egy különböző fontosságú, kapacitású, megbízhatósági követelményű igényeket megvalósító hálózat esetén ennek pontos meghatározása megoldhatatlan feladat.

Itt természetesen eltekintünk attól a nehezen modellezhető tényről is, hogy a szolgáltató prioritásai globálisan nem is megfogalmazhatóak (pl: a szolgáltató különböző részlegei különböző prioritásokkal rendelkeznek), és ráadásul időben sem állandóak.

Mindezekből látható, hogy gyakorlatban nagyon jelentős probléma annak meghatározása, hogy mi legyen a vizsgált hálózatmegbízhatósági jellemző. Gyakorlatilag egy általánosabb problémával a releváns információ kiválasztásának problémájával állunk szemben. A problémát úgy is megfogalmazhatjuk, hogy melyek azok a paraméterek, amellyek a hálózat minket érdeklő tulajdonságait a leghatékonyabban tükrözik abban az értelemben, hogy a paraméterek alapján hozott döntések a várt eredményt szolgáltatják? Például egy adott költségű hálózat fejlesztés egy adott megbízhatósági mutatót lényegesen javít, egy másikat viszont nem. Ebben az esetben a döntési folyamat részeként fel kell mérni az egyes mutatók jelentőségét és az alapján kell dönteni. Későbbiekben a dolgozat nem foglalkozik az egyes paraméterek jelentőségének elemzésével, hanem e fejezet hátralévőrészében összegyűjti a szóba jövő paraméterek kiválasztásának, kiszámításának, felhasználásának további problémáit, és a következő fejezettől megadja elemzésük módját.

## 3.2. A megbízhatósági elemzés bemenő adatai

A nagy bonyolultságú távközlő hálózatok üzemeltetői rengeteg különböző jelleget adattal rendelkeznek például a hálózat felépítéséről, működési, működtetési szabályairól, a felhasznált berendezések gyári adatairól, a valós működtetés során tapasztalt működési tulajdonságokról, stb. A megbízhatósági elemzés a kiválasztott megbízhatósági paramétereknek megfelelően ezekből az adatokból használ fel valamennyit, mint a számítások bemenő adatai. A felhasználható adatok a következő csoportokba oszthatók:

- hálózat topológia (a földrajzi topológiától a berendezések felépítésének, összekötésének topológiájáig),
- kapacitás adatok,
- igény megvalósítás adatok (elvezetés, nyalábolás, beültetés),
- meghibásodási folyamat adatai (a véletlen folyamatok, és kapcsolataik),
- működtetési szabályok (tartalék alkatrészek készletezése, tartalék kapacitások kiépítése, védelmek, redundanciák alkalmazása és felhasználása, karbantartási politika, javítási politika, és mindezek a szabályok az összes hibaállapotban).

A következőkben tárgyalni fogjuk, hogy milyen bonyolultságú a számítás a különböző részletességű modellek esetén, itt azonban ettől függetlenül szeretnénk kihangsúlyozni, hogy a valósághű modellek számítása nem csak a számítási bonyolultság, hanem a szükséges bemenő adatok hiánya miatt sem megvalósítható. Egyrészt egy földrajzilag kiterjedt hálózat esetén általában nem áll rendelkezésre egy helyen az összes felsorolt információ. De ettől eltekintve is több nehézséget kell leküzdeni a szükséges bemenő adatok meghatározására. A teljesség igénye nélkül felsorolunk ezek közül néhány jellegzetes problémát:

- megbízhatósági jellemzők:  
Mint már említettük a meghibásodási folyamatok olyan bonyolultak, hogy hatásukat nem az összetevők vizsgálatából determinisztikus következtetésekkel, hanem nagyobb számú elem működéséből levont tapasztalatok alapján véletlenszerűen vesszük figyelembe. Azaz véletlen folyamatokat feltételezünk a háttérben, amik néha meghibásodást okoznak.

Ez a széles körben elterjedt vizsgálati módszer azonban nagyon nehéz problémák megoldását feltételezi.

Történetesen meg kell határozni, azt a véletlen folyamatot, ami az igényeinknek megfelelő pontossággal adja meg a vizsgált elem(ek) viselkedését. A matematikai háttér részletes elemzése nélkül azt szeretnénk kihangsúlyozni, hogy az egy-két paraméterrel jellemzett véletlen folyamatok kis elem- vagy eseményszám mellett nagyon pontatlan eredményeket szolgáltatathatnak!! Ennek a problémának egy lehetséges vizsgálati módja, amellyel a dolgozat nem foglalkozik, az érzékenységelemzés, azaz hogy egy adott paraméter bizonytalansága (változása) mekkora hatással van az eredmény alakulására.

- megbízhatósági adatok forrása:

Továbbá, a felhasznált megbízhatósági adatok forrása is okot adhat egyfajta bizonytalanságra. Az adatok általában két fő forrásból származhatnak, vagy a berendezés gyártó adataiból, vagy az üzemeltető (vagy más üzemeltetők) tapasztalati adataiból. Az első forrással szemben nyilvánvaló kritika lehet a gyártó érdekeltsége, azaz hogy a gyártó abban érdekelt, hogy minél nagyobb megbízhatóságot mutasson ki. Az üzemeltetők adataival pedig az a baj, hogy a mai gyors hálózat fejlesztési ütem mellett nem engedhető meg nagy konfidenciájú adatgyűjtés kivárása.

- kis valószínűségű események:

Ezen túlmenően a berendezések általában nagyon ritkán hibásodnak meg, ami azt jelenti, hogy nagyon kis valószínűségű események előfordulásáról kéne pontos adatokat szerezni. Márpedig minél kisebb valószínűségű eseményről van szó, annál több vizsgálat kell a véletlen folyamat megismeréséhez, és megfordítva annál kevésbé bízhatunk az eredmények hitelességében.

- folyamatos hálózatfejlesztés:

További figyelembeveendő hatás, hogy a hálózatban nem beszélhetünk "állandósult állapotról". Az elektronikus berendezések meghibásodási folyamata általában nem időfüggetlen, azaz általában azonos berendezések közül a régebb óta működő hibásodik meg nagyobb valószínűséggel. A hálózat folyamatos fejlesztése miatt azonban szinte reménytelen megállapítani az összes hálózati berendezés korát. (Ez a hatás azonban



elhanyagolható az előző pontból eredő bizonytalanság mellett.)

- hibahatás csökkentés:  
Bizonyos (főleg nagyobb valószínűségű, kisebb degradációt eredményező) hibák esetén a hibahatás csökkentés egyértelmű, sőt néha automatikusan megvalósított eljárás (pl: SDH öngyógyító gyűrű), de a hálózat nagymértékű degradációja esetén azonban a hibahatás csökkentése eseti döntésen alapulhat, amit szintén nehéz a számítások bemenő adataként megadni.
- katasztrófák:  
Az eddig felsorolt, a távközlő rendszerrel közvetlen kapcsolatban lévő bizonytalanságok mellett, meg kell említeni, hogy a kis meghibásodási valószínűségek miatt összemérhető jelentősége van a távközlő rendszertől független hibáknak is. Például természeti katasztrófák, háborúk, stb. Nyilván ezek az események (előfordulásuk, hatásuk a hálózatra, ..) még kisebb biztonsággal írhatók le.

Összegezve tehát elmondható, hogy a megbízhatósági elemzés bemenő adatai is nagyon bizonytalanok, és a meghatározni kívánt paraméter kitűzésénél figyelembe kell venni a rendelkezésre álló (vagy racionálisan megszerezhető) adatok halmazát, és bizonytalanságát.

### 3.3. A megbízhatósági elemzés célja

Az eddig bemutatott bizonytalanságok és nehézségek után végül említést teszünk arról, hogy ezek mellett mégis mi haszna lehet a megbízhatósági elemzésnek, miért kell vele foglalkozni. Egyúttal az itt felsorolásra kerülő célok fogják meghatározni, hogy milyen adatokkal, milyen modellt, milyen módszerrel vizsgáljuk, és az eredményeket hogyan értékeljük. Az egyes célkitűzések mellett az lesz a megfelelő választás, amelyik a cél elérését leghatékonyabban támogatja. A későbbiekben több részlettel is alátámasztjuk, hogy ez a feladat elsősorban mérnöki- és nem matematikai feladat, annak ellenére, hogy alapos matematikai felkészültséget igényel; hiszen a feladat meghatározó jelentőségű eleme a “megfelelő elhanyagolás” szintjének meghatározása, amely mellett a megbízhatósági elemzés elérhető mennyiségű és tartalmú adatok alapján még megoldható számítási komplexitással elvégezhető, és az eredmények támogatják a hálózatüzemeltetés alábbi célkitűzéseit.

- A hálózat kialakítása

A hálózat kialakítása során a következő lépésekben felhasználandók a megbízhatósági szempontok

- topologiai tervezés: pl. többszörös él- és csúcsösszefüggőség
- elvezetés tervezés: pl. él-, csúcsfüggetlen utak azonos pontok között
- hálózati redundanciák (pl: tartalékhálózat) tervezése: pl. többszintű hálózat, önnálló védelemmel rendelkező alstruktúrák kialakítása.

- A hálózat üzemeltetése

Az üzemeltetés szabályainak kialakítása is több megbízhatósági vonatkozást tartalmaz:

- karbantartás politika,
- javítás politika,
- tartalékolás politika,
- hálózati dedundanciák felhasználása különböző hibaállapotokan.

A hálózat üzemeltetéséhez tartozik ezen kívül még az a kérdéskör is, hogy hogyan kell “nyomonkövetni” a hálózat működését (esetünkben csak a meghibásodási – javítási folyamatra gondolva). Olyan nyilvántartási rendszert kell kialakítani, amely lehetővé teszi a megvalósított hálózat azon adatainak gyűjtését, amelyek a későbbiek során az újabb megbízhatósági elemzés bemenő adatai lehetnek.

- Szolgáltatás

Milyen szolgáltatási feltételrendszer vállalható, és azt hogyan kell teljesíteni.

A távközlőhálózat üzemeltetők célja tehát e kérdések megválaszolása annak érdekében, hogy költséghatékonyan tudjon hálózatot kialakítani és üzemeltetni.

## 4. fejezet

# Modellalkotás

A hálózatmegbízhatósági problémakör, mint az eddigi fejezetek is mutatják, nagyon széles probléma spektrumot jelent. Ebben a dolgozatban már utaltunk rá, hogy e teljes spektrum tárgyalása nem célkitűzésünk, hanem arra törekszünk, hogy a jelent és a közeljövőt tekintve a gyakorlatban alkalmazhatónak tűnő módszereket gyűjtsük össze. Ennek megfelelően ebben a fejezetben csak az ígéretesnek tartott modellezési módszerek kerülnek bemutatásra.

### 4.1. A modellalkotás alapvető kérdései

A távközlő hálózatok — és általában minden más hálózat — tervezésekor és vizsgálatakor a tervező mérnökök vagy gépi tervező rendszerek a valóságot valamilyen modellel írják le, melynek segítségével a valóság lényeges elemei kiemelhetők az összetett problémából. A modellalkotás célja, hogy a hálózattal kapcsolatban az alkalmazót érdeklő kérdések megválaszolásában segítséget nyújtson. A hálózattervezésben és a megbízhatósági vizsgálatokban is emiatt terjedtek el a különböző modellek, melyek segítségével a hálózat azon részei kezelhetők egyszerűbben és kiemelten, melyek a vizsgált kérdésre a választ meghatározzák.

A modellalkotás alapja, a valósághoz való hűsége, azaz a valóságot — a vizsgált paraméterek szempontjából — leíró ereje, és bonyolultsága. Az a modell ami a valóságot egy az egyben figyelembe veszi, — gyakorlatilag a valóság maga —, rendelkezik a legjobb leíró erővel, és egyben a legbonyolultabb számítással és kezeléssel. Másik véglet az adott lehetőségekhez képes legegyszerűbb modell megalkotása, mely a legegyszerűbb számításokat igényli, de a legkisebb a leíró ereje. Tehát a modell alkotónak meg kell találni azt az optimális megoldást mely során olyan elfogadható bonyolultságú modellt hoz létre, mely a

lehetőségekhez képest relatíven a legjobb és abszolút értelemben elfogadható leíró erővel rendelkezik. Relatíven a legjobb, azaz az adott bonyolultságú számítás mellett a megtalált modell kell, hogy a legjobb leíró erővel rendelkezzen; abszolút értelemben elfogadható, azaz a modellnek megfelelő leíró erővel kell rendelkezni ahhoz, hogy a gyakorlatban a tervezés során már hatékonyan és elfogadhatóan lehessen alkalmazni. Erre a különválasztásra azért van szükség, mert elképzelhető olyan eset, melyben a számítási kapacitás felső határa mellett megtalált relatíve legjobb megoldás gyakorlatilag nem használható a valós élet jellemzésére. Ekkor valamilyen más módon kell megközelíteni a problémát, vagy esetleg el kell fogadni, hogy az adott feltételek mellett nincs használható választ adó megoldása.

Tehát a modellek számítási bonyolultsága és leíró ereje általában valamilyen fordított típusú aránnyal jellemzhető. Általában minél jobb a leíró erő, annál nagyobb a számítási igény. A konkrét modellalkotás és felhasználás lépései a következők:

### **1, A rendszer leképzése a modellbe**

A modellezni kívánt hálózatról minél több információt kell begyűjteni. Ezt az információ gyűjtést — a későbbi vázlatos elképzelések szempontjai szerint — célirányosan érdemes végezni, nem szükséges, hogy mindenre kiterjedő legyen. Ez jelentheti többek között a készülő vagy vizsgálandó hálózat alkotóelemeinek minél alaposabb jellemzését, és adataik begyűjtését. A hálózat felépítéséhez, szerkezetéhez, berendezési kapcsolatához tartozó információk felmérését. A vizsgált hálózat működésének megismerését.

### **2, A rendszer/modell paramétereinek meghatározása**

A következő lépés, az adott modellben kezelni kívánt paraméterek meghatározása, definiálása. Ennek során a modell paraméter és a valós hálózati jellemző kapcsolatának meghatározása, az egymásnak történő megfeleltethetőség vizsgálata tartozik a lényegesebb tennivalók közé. Ezek a paraméterek tartozhatnak az egyes elemekhez, esetleg azok valamilyen jellemzőinek történő egy az egyes megfeleltetésével, de lehetnek valamilyen bonyolultabb, összetettebb módon definiált általános leíró erejű, átfogó jellemzők is. Tehát itt kell megadni, hogy a modell milyen bemeneti és kimeneti paraméterekkel dolgozik, és a bemeneti paraméterek mily módon következtethetők a valós hálózatról szerzett információból.

### **3, Paraméter számítás**

A modell használatához pontosan meg kell adni, hogy a vizsgált paraméterek

milyen módon számíthatók. Ennek meghatározásában nyújt segítséged a modell elemzése, mely megadja a paraméterek számításának meghatározásához szükséges információkat. A definiált kimeneti paraméterek számítási módjának a meghatározása igen lényeges lépés. Gyakorlatilag ennek a lépésnek a minél "ügyesebb" megvalósítása tesz különbséget az azonos típusú (azonos bemeneti és kimeneti jellemzőkkel definiált) modellek között. Itt lehet meghatározni, hogy milyen matematikai eszköztárat használ fel a számítás a kimeneti paraméterek kiszámítására. És a kimeneti paraméterek az adott eszköztár segítségével milyen módon számíthatók. Ennek a lépésnek a megvalósítási módja határozza meg például a számítás bonyolultságát és kapacitás igényét is. Ebből kifolyólag a modell alkalmazhatósága igen nagy mértékben függ e lépéstől, mivel még számítógéppel segített tervezés esetén is csak korlátos lehetőségek állnak rendelkezésre a számítások elvégzésére.

A modell leíró ereje, és számítási igénye, tehát attól függ, hogy milyen módszerrel milyen paramétereket kívánok meghatározni. Ha az alkalmazott modell a valóságot pontosabban írja le, a részleteket is jobban figyelembe véve, akkor a paraméterek meghatározásához több információ szükséges a hálózatról. Jól látható, hogy a modellalkotás egyes szintjei meghatározzák a következő szintek lehetőségét, és összességük pedig magának a modellnek a lehetőségeit és jellemzőit. Ez utóbbi természetesen logikailag is következik abból a tényből, hogy a modell csak a modellalkotásban alkalmazott lépésektől függ. Egy több összefüggést felhasználó és a valóság részleteit jobban figyelembe vevő modell tényezőinek számítása bonyolultabb matematikát igényelhet, ehhez több paraméter kell, ami több kezdeti információ begyűjtését teszi szükségessé.

## 4.2. Alkotó elemek

A távközlő (átviteli) hálózatok modellezése esetén definiálhatók olyan eltérő "szintű" modellek, melyek a modellezés alapjainak, építőköveinek tekinthetők. Ezek pontos ismerete nagy segítséget jelent a konkrét problémákra tervezett és alkalmazott modellek generálásánál. A következőkben a tanulmány ezeket az alapmodelleket foglalja össze.

### 1. Gráfmodell

A hálózati modellezés alapjának tekinthető. Lényege, hogy a valós fizikai hálózathoz egy matematikai gráfot rendel, mely csomópontjai a hálózat

központjai, és élei a hálózat összeköttetései. Több fajtája létezik a gráf jellemzőitől függően. Ezek egy részéről e tanulmányban is szó lesz. A következő alapmodellek ennek az általános gráfmodellnek a kiterjesztései, melyek mindegyike még legalább egy kiemelt dolgot is figyelembe vesz és kezelni képes a hálózat jellemzői közül.

## 2. Részletes csomópont modell

A valóságot részletesebben leíró megoldás ha a hálózat egy csomópontjában működő központot vagy központokat nem egy elemként, hanem pl. a berendezésekből felépített kis hálózatként vesszük figyelembe, azaz felhasználjuk a központ felépítéséről szerzett információkat is. Egy központ állhat egy vagy több berendezésből is. A részletes csomópont modell figyelembe veszi a különböző központok közötti különbségeket, és számításba veszi az egyes központokat alkotó berendezések meghibásodásainak hatását is. A modell igen összetetté és bonyolultá válhat a csomópontok felépítésétől függően, ami a számításokat igen megnehezítheti. Ennek kiküszöbölésére szolgál a modellt kiterjesztő transzformáló megoldás, mely során a csomópontot felosztjuk, és több más csomóponttal helyettesítjük. Ez az eljárás részletesen a későbbiekben ismertetésre kerül, és a 6.1. ábrán egy példát is mutat erre a tanulmány. Ez a megoldás a feladatot arra a szintre redukálja, amelyen egy csomópontban egy központ található, és ahol egy központ csak egy berendezésből áll. Ennek a problémának a megoldása így módon egyszerűbb, mintha összetett központokat kéne az alkalmazott modellben kezelni. Ebben az esetben oda kell figyelni arra a problémára, hogy a majd későbbiekben bemutatott összefüggő és független meghibásodások a transzformációra nézve nem biztos hogy transzparenssek. (Egy több berendezésből álló központ kiesése pl. az áramellátás megszűnése miatt a transzformált hálózatban több központ összefüggő kiesését okozhatja. És bár az egyes berendezések meghibásodása az előbbi hálózatban szintén összefüggőt ebből a szempontból, de ugyanez a hiba a transzformált hálózat más szintjén a központok szintjén jelentkezik az eddigi berendezés szint helyett, és ekkor a helyzetének megfelelően más kezelést igényelhet.)

## 3. Kapacitásos gráf

A kapacitásos gráf modell a hálózatok átviteli kapacitásainak mennyiségi figyelembe vételére és kezelésére képes. A modellben a gráf egyes élei-

hez (a hálózat összeköttetéseihez) tipikusan valamilyen kapacitás jellegű mennyiséget rendelünk, mely jelzi, hogy az elvezetendő (azaz a grfára) lefektetni kívánt igényekből milyen mennyiség halad az adott élen keresztül. Tipikusan két eltérő célra, két eltérő módon szokták a modellt alkalmazni. Az egyik a gráf éleinek, a szállított jellemzőre vonatkoztatva valamilyen felső határértéket definiál. Ekkor az adott élen ennél a számnál nagyobb mennyiségű igény az élre nem fektethető le. Ez a mód a már kiépített hálózatok átkonfigurálásakor vagy ehhez hasonló igény (újra)lefektetések esetén használatos. Másik mód, mikor a hálózat tervezésekor épp arra a kérdésre kíván az alkalmazó választ kapni, hogy az igények egy adott elvezetése esetén a hálózat éleinek milyen kapacitásúaknak kell lenniük.

#### 4. Többtermékes folyam probléma

A gráf modellt azzal bővíti, hogy a hálózati topológia mellett a továbbított igényeket is kezelni képes ez a megoldás. A modellben az átviteli hálózatokban továbbításra kerülő igényeket mint a kezdő és végpontjuk közti gráf folyamatokat tekintjük, melyeket a teljes gráfon kell valamilyen szempont szerint elvezetnünk. Ez a szempont lehet valamilyen követelmény az elvezetés hosszával kapcsolatban, (pl. a felhasznált szakaszok száma szerint, vagy az élek — külön definiált — valamilyen hossz típusú jellemzőjére vonatkozó követelmény szerint) vagy, hogy egy élen vagy minden élen minimális legyen az elvezetett folyamatok száma, esetleg kapacitás összege, ha a modellt ötvözzük a kapacitások gráfmodellével.

#### 5. Fix elvezetések alkalmazása

Az alap gráf modell ezen bővítése az átviteli hálózatok azon tulajdonságát írja le, hogy az esetek többségében már a tervezéskor eldől, hogy az egyes igények a hálózat mely szakaszain keresztül kerülnek elvezetésre. Tehát a gráfban minden igénynek megvan az előre megadott útja, melynek optimális megtalálása a tervezés egyik alapfeladata.

#### 6. Moduláris kapacitások gráf

A modell a kapacitások gráfmodell továbbfejlesztése. Figyelembe veszi, hogy a hálózat szakaszain az igények és az átviteli kapacitások nem oszthatatlanul, teljes egészésként állnak a rendelkezésre a gyakorlatban, hanem bizonyos csoportonként. Gyakorlatilag a nyálábolás kérdésköre kezelhető

a modellel igen hatékonyan. A vonali rendszerek átviteli kapacitásai csak megfelelő csoportokban képesek az adott nyomvonalon lefektetett teljes kapacitás elvezetésére. Fontosságát mutatja, hogy a segítségével tervezett helyes nyalábolás az optimális berendezésszám elérésével lényeges költségmegtakarítást jelenthet egy véletlen szerűen, vagy rosszul megtervezett megoldáshoz képest.

#### 7. Hibamodellek

A valóságban bekövetkező hibák igen összetettek és sokrétűek lehetnek. Ezek különböző szintű kezelésére számos modell típust dolgoztak ki.

Alapvető jellemzője a modelleknek, a figyelmebe vett és kezelt hibák száma. Ez lehet egy, kettő, három ill. több. Védelmi tervezéseket leginkább egy hibára szoktak végezni, mert ennek bekövetkezési valószínűsége a legnagyobb, és egy hiba védelmére már léteznek jól kidolgozott és költségarányosan megvalósítható megoldások. Több hiba ellen a bekövetkezés kis valószínűsége miatt nem éri meg védeni a hálózatot, mert a védelem megvalósítása annyira megemelné a költségeket, hogy a szolgáltatást nem lehetne reális áron eladni. Természetesen ez nem zárja ki, hogy a jelenlegi védelmi megoldások bizonyos többszörös hibák ellen nem képesek védeni a hálózatot, de mivel nem ez a feladatuk, ez a képességük erősen függ a bekövetkezett hibák kombinációjától.

A megbízhatósági számításokban a többszörös hibákat is figyelembe kell venni, hisz pont ezek segítségével lehet reálisan jellemezni a hálózatot, hogy mely esetekben mely funkcióját képes még ellátni.

A többszörös hibák esetén igen lényeges a hibák közti összefüggések ismerete. Ez két típusra bontható: a különböző hibák azonos külső hatás eredményeként keletkeztek, tehát a hibák összefüggők, de nem egymás hatásai, illetve a többszörös hibák egymás okaiként keletkeztek, azaz a hálózatban hibaterjedéssel kell számolni. Előbbi esetre példa, ha a berendezések áramellátása azonos forrásból származik, ekkor ennek kiesésére az összes ilyen berendezés kiesik, a fellépő hibák összefüggők, egyszerre jelentkeznek minden ilyen áramkimaradásra. Az utóbbira példa ha egy berendezés kiesése miatt egy másik berendezés esetleg téves információt kapva fog hibásan működni, vagy a fizikai szinten bekövetkezett szakadás a magasabb logikai szinteken többszörös út szakadásokat okozhat.



Ekkor a keletkező hibák egymás hatásainak eredményei, azaz a feladat megoldásához a hibaterjedés jelenségét kell kezelni.

Összefüggő hibákkal meglehetősen nehéz számolni, mert a feladatot nagyon elbonyolítja a sokféle állapot lehetősége. Ezért a modellek nagy rész független hibákat tételez fel, melyek a tapasztalat szerint még megfelelő leíró erővel rendelkeznek bizonyos szintű modellekhez. A független hibák esetén született eredmények a pozitív korrelációjú összefüggő hibákéhoz (ami azt jelenti, hogy a többszörös hibák nagyobb valószínűséggel fordulnak elő egyszerre) képest **pesszimista becslést** adnak. Ezért sok esetben a független hibák melletti eredmények megfelelőek, hisz bizonyos függő hibák esetén az elvi eredmények vagy ezekkel azonosak vagy jobbak lehetnek.

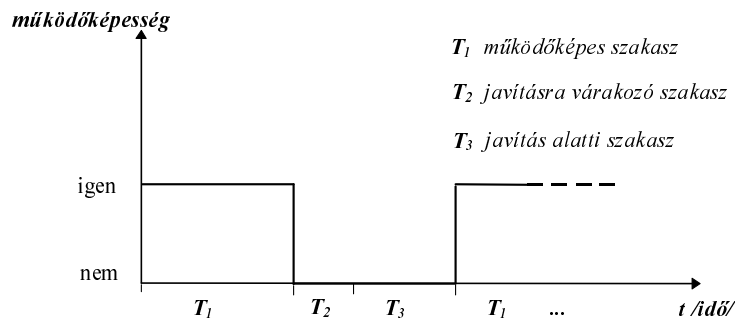
Független bináris megbízhatósági állapotú hálózatelemek

A fenti hibamodellek egy tipikus alkalmazási formája ez a modell, melyben a hálózat elemei (melyek az általános gráf modell elemeit adják) csak kétállapotúak lehetnek, azaz vagy megfelelőek, vagy nem. A megfelelő állapotban üzemképesek. Az elemek egymástól független működésűek és viselkedésűek. Azaz egymást semmilyen módon nem befolyásolják. Ez a számítások során azt jelenti, hogy az elemek megbízhatóságát és meghibásodását leíró valószínűségi változók függetlenek.

#### 8. Javítási folyamatok, politikák

A hálózat elemek egy része javítható, egy másik rész nem. Az elemek életmódja egy tipikus görbével jellemezhető, mely a 4.1. ábrán látható. Ez a kétfajta elem esetén abban tér el, hogy míg a javíthatónak periodikusan változik a működőképes és kiesett szakasz, a nem javítható elemnél a kiesett szakaszt az első működési szakasz után végtelen hosszúnak kell tekinteni. Ezeket az elemeket a távközlési hálózatokban — mivel nem javíthatóak — hiba esetén lecserélik.

Egy periódus a következő részekből áll. Megfelelő működési szakasz ( $T_1$ ), nem működő szakasz javításra várva ( $T_2$ ), nem működő szakasz javítás alatt ( $T_3$ ). Majd az újabb periódus ismét működő szakasszal indul, mely a meghibásodás után  $T_2$  és  $T_3$  szakasszokkal folytatódik a következő javításig.



4.1. ábra : Javítható elem életgörbéje

Nem javítható elem esetén a javítási szakasznak a kicserélés ideje felel meg. Így a hálózat szempontjából eltérő az életgörbe mint a berendezés szempontjából, ahol a már említett módon a végtelen hosszú hibás rész követi a megfelelő működést jelző szakaszt. Ha a pótalkatrész nem áll helyben rendelkezésre, akkor arra várakozás ideje növeli még az üzemképtelen idő nagyságát. Adminisztratívén ez az idő vagy külön vehető figyelembe, vagy a csere ill. javítás idejébe beszámítható.

Az elemek javítási és csere ideje ill. ezeknek megengedhető nagysága függ az elem fontosságától, azaz a hálózati struktúrában elfoglalt helyétől, feladatától. Egy nemzetközi kilépő pontnál, vagy egy gerinchálózati kapcsolónál melyeken igen sok és esetenként nagy fontosságú igény halad, nem engedhető meg, hogy ne a lehető legrövidebb időn belül történjen meg a javítás vagy a csere, míg például egy helyi központ egyik kapcsolója esetén ez az idő jelentősen hosszabb lehet.

A nagyobb hálózatmegbízhatóság elérése érdekében különféle védelmi megoldásokat alkalmaznak, hogy míg a csere, vagy a javítás megtörténik, a hálózat addig is megfelelő szinten működőképes maradjon. Ezekről a védelmi megoldásokról, és a megbízhatóságra gyakorolt hatásokról a későbbiekben lesz szó.

## 9. Költség modellek

A gráf modell valósághoz közelítése során alkalmazhatók különféle költségfüggvények is, melyek segítségével figyelembe vehető a csomópontok közötti szakaszok megvalósítási költségének terheléstől való függése. Ek-

kor egy gráf él jellemzője nem csak a kapacitás, hanem például egy olyan költség tényező, ami egy fix és egy terheléstől függő részből tevődik össze. Más esetben ez lehet egy hossz jellemző konstans is. Ezek segítségével a gráfban figyelembe lehet venni az összeköttetés hosszát, vagy a nagyobb kapacitáshoz tartozó több berendezést magasabb költségét, ill. egyáltalán az összeköttetés megvalósításának alapköltségét.

### 4.3. Vizsgált paraméterek

A megbízhatósági elemzés során a vizsgált hálózatról mindig valamilyen jellemzője szerint értékelve lehet véleményt nyilvánítani. Megbízhatósági vizsgálat alatt, az esetek többségében valamely megbízhatósági jellemző vizsgálatát, elemzését és értékelését kell érteni. Az alábbiakban felsorolás szinten található egy pár jellemző, melyek közül többel a tanulmány is részletesen foglalkozik. A tényezők részletes ismertetése a tanulmányban a kapcsolódó helyeken (ahol legalább elméleti szinten alkalmazásra kerülnek) megtalálható.

- Összefüggőség
- DTR (üzemkiesési időarány)
- Pont-pont összeköttetések rendelkezésre állásának valószínűsége
- Rendelkezésre állás hálózati szinten (utak, összes igény szempontjából)
- K-terminál-megbízhatóság
- Teljesítmény index egy útra
- Hálózati szintű statikus teljesítmény index
- Hálózati szintű dinamikus teljesítmény index

A problémának (mint a felsoroltakból is látszik) két típusú megközelítése lehetséges. Egyrészt a hálózatban definiált elvezetésekhez vagy igényekhez kötődő nem átkonfigurálható megoldások vizsgálatával jellemzhető a hálózat. Ezek jellemzője, hogy a vizsgált tényezőhöz egyértelműen hozzárendelhetők az általa használt fizikai eszközök, így jól behatárolhatók a működésükhöz szükséges feltételek. Tehát például adott elvezetés esetén mely elemcsoport tagjainak

milyen módon kell rendelkezésre állni, működni ahhoz, hogy a rajtuk elvezetett igény — megvalósított út — használható legyen.

Másik típusú megközelítés a hálózat szintű problémák felől vizsgálni a kérdéskört. Ekkor a hálózat egyes állapotaiban más-más lehetőségek állnak egy igény elvezetésének a rendelkezésére, és az egyes elvezetések hatással lehetnek a többire is. Ez összetettebb és bonyolultabb probléma mint az előző, viszont összetettebb jellemzésre ad lehetőséget.

E megközelítésnek szabad kiterjesztése az átrendezhető tartalékhálózattal megvalósított elvezetések kérdésköre, melyet helyreállítás típusú védelemnek is szoktak nevezni. Ezzel a kérdéssel adott mélységig külön fejezet foglalkozik.

## 5. fejezet

# Védelem nélküli hálózatok

### 5.1. Egysíkú hálózatok

A hálózatokat a fenti alapmodelleknek megfelelően tehát valamilyen gráfos modellel reprezentálják az esetek többségében. Azaz a hálózat egy  $G = (V, E)$  gráfnak felel meg, ahol

- $V$  a vizsgált  $v_i$  csomópontok egy adott halmaza,
- $D$  a  $d_{ij}$  igények (melyek a  $(v_i, v_j)$  pontpár között, elvezetendő igényeket jelölik) adott halmaza,
- $E$  a csomópontok között megvalósított élek  $(e_{ij})$  halmaza.

Ezek az alapjellemzőkön túl lehet még a különböző modelleknek megfelelő többlet jellemzőket definiálni a gráfon (pl. a gráfél kapacitását  $c_{ij}$ , vagy meghibásodási valószínűségét  $P(e_{ij})$  stb. . .)

A robosztusabb, különböző védelemmel ellátott hálózatok könnyebben tesznek eleget a megbízhatósági követelményeknek. De a konkrét jellemzéshez szükség van összehasonlítható minősítő jellemzőkre. Egy hálózat több eltérő jellemzővel írható le. Fontos leszögezni, hogy ezek a jellemzők egymáshoz képest milyen fontossági sorrendben vannak (melyik ad jelentősebb — többlet erőbb — információt a hálózat megbízhatóságáról). Több szempontból összehasonlítva két hálózatot csak akkor mondható egyértelmű vélemény, vagy ha az összes jellemző azonos viszonyban van egymással (azaz mindegyik vizsgált jellemző szerint az egyik hálózat a jobb), vagy ha megadható egy olyan függvény mely az egyes jellemzőket a fontosságuk szerint súlyozza, és akkor ezen függvény alapján (mely figyelembe veszi az egyes jellemzők értékeit) lehet a két hálózatot összehasonlítani egyértelműen. Ezek hiányában csak az állítható

biztosan, hogy egy hálózat az adott jellemző tekintetében jobb vagy rosszabb mint a másik.

A következőkben a tanulmány egy-két az egysíkú hálózatoknál már gyakorlatban használt jellemzőt mutat be. Ezek egy része a szabványokban is megtalálható, más részüket inkább a gyakorlati megfontolások tették széleskörűen használtá.

### 5.1.1. Klasszikus jellemzők

Egy klasszikusnak tekinthető jellemző az **összefüggőség**. Egy gráfot összefüggőnek nevezünk, ha bármely két csomópontja között található olyan út, (azaz a gráf éleinek sora) mely a két pontot összeköti. Egy  $G$  gráfra a *csomópont összefüggőség*  $\kappa(G)$  azoknak a csomópontoknak a száma, melyek minimálisan szükségesek a gráf összefüggőségének megszüntetéséhez. Ehhez hasonlóan az *él összefüggőség*  $\lambda(G)$  azoknak a minimálisan szükséges éleknek a száma, melyek elhagyása megszünteti a gráf összefüggőségét. Ha  $\delta(G)$  a csomópontok minimum fokszáma,  $v_i$  csomópont fokszáma  $d_i$ ,  $n = |V|$ ,  $m = |E|$ , (azaz  $n$  a csomópontok száma és  $m$  az gráf éleinek a száma) a következő összefüggés adható meg az előbbi mennyiségekre:

$$\kappa(G) \leq \lambda(G) \leq \delta(G) \leq \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n d_i = \frac{2m}{n}$$

Vagyis az átlagos csomópont fokszám, melyet úgy kaphatunk, hogy az élek számának kétszeresét osztjuk a csomópontok számával, felső határt ad a gráf mindkét féle összefüggőségére és a minimális csomópont fokszám értékére. Ez utóbbik egymáshoz képesti viszonyáról a következő látható az összefüggésből: a csomópont összefüggőség értéke maximálisan az élösszefüggőség értékét veheti fel, ami hasonló viszonyban van a csomópontok minimális fokszámával.

Minthogy a kábelszakadásokat az élkiesések, a központ hibákat a csomópont kiesések segítségével egyszerűen modellezhetjük, így az összefüggőség számítás igen hasznos lehet első körben egy hálózat megbízhatóságának hosszútávú vizsgálatakor. Például cél lehet egy hálózat olyan átalakítása melynek során a  $\kappa(G) = 2$  és  $\lambda(G) = 2$  érték biztosítható az egész hálózatra nézve. Ez a hálózat kétszeres él és csomópont összefüggőségét jelenti.

**Gráf átmérő.** Egy gráf átmérőjét (*diameter*,  $d(G)$ ) a gráf útjainak segítségével definiálják.  $d(G)$  a gráfban található csomópont párok közti legrövidebb utak közül a leghosszabb út hossza. Ez a jellemző már figyelembe veszi, ha az

út hossza nem csak a szakaszinak számától hanem azoknak valamilyen "hossz" jellemzőjétől is függ. A kisebb átmérővel rendelkező hálózatok megbízhatósága általában nagyobb, így a hálózatok azon átalakításai melyek az átmérőt csökkentik, általában a megbízhatóságot is javítják. Szövevényes hálózatok, magas értékű összefüggőség esetén igen jó eredményeket képesek felmutatni ebből a szempontból.

Ezeknek a jellemzőknek kiterjesztett esetei az irodalomban is megtalálhatóak. De ezek lényege a fentiekkel egyező. Ilyen jellemző például az "állhatalosság". [1]

Bizonyos hálózati architektúrák felépítésbeli előnyöket tartalmaznak a többihez képest. Például a gyűrű architektúra  $n$  számú csomópont mellett, minimális élszámmal valósítja meg a kétszeres csomópont és él összefüggőséget ( $m = n, \kappa(G) = \lambda(G)$ ).

A fenti jellemzők a hálózat topológiai elrendezését értékelték, így inkább a hosszútávú tervezés és átalakítás irányításában kaphatnak nagyobb szerepet. Nem vették figyelembe azt, hogy az elemek a valóságban nem 1 valószínűséggel állnak rendelkezésre a hálózatban, tehát hogy az elemek csak bizonyos mértékű megbízhatatlansággal rendelkeznek, azaz bizonyos valószínűséggel meghibásodhatnak.

### 5.1.2. A $K$ -terminál-megbízhatóság ( $K$ -terminal-reliability)

A  $K$ -terminál-megbízhatóság olyan megbízhatósági jellemző, mely már számol az egyes elemek meghibásodási valószínűségével.  $G$  gráf ( $G = (V, E)$ ) egy adott  $K$  csomópont halmazára (ahol  $K \subseteq V$ ) a  $K$ -terminál-megbízhatóság  $Rel_K(G)$  a definíció szerint annak a valószínűsége, hogy  $K$  halmaz minden csomópontjából létezik út bármely más  $K$  belüli csomóponthoz. (Azaz  $G$   $K$ -beli csomópontjai legalább fa struktúrával vannak összekötve.)

Ennek speciális esete az összes-terminál-megbízhatóság *all-terminal-reliability* amikor  $K$  halmazba  $G$  összes csomópontja beletartozik. ( $K = V$ ).  $|K| = 2$  esetén beszélünk két-terminál-megbízhatóságról (two-terminal-reliability). Míg az előző a hálózatot jellemző érték, hisz az összes csomópont összeköttetésének valószínűségét adja, addig az utóbbi a hálózat egyes útjainak lehet adott szintű jellemzője, hisz a két csomópont az egyes pont-pont összeköttetések, azaz az egyes utak végpontjainak feleltethető meg.

Az irodalomban a K-terminál-megbízhatóság számításáról további részletek találhatók, [2] és azt is belátták már, hogy egy tipikus hálózat esetén ez a probléma az NP-teljes problémák csoportjába tartozik. [3]

Bár azt is megmutatták már, hogy a "faktorizálási technikával" (*factor theorem*) és más redukciós eljárásokkal a reális idő alatt feldolgozható és kezelhető hálózatok mérete viszonylag nagy lehet. Az ezzel kapcsolatos elméleti alapok az irodalomban megtalálhatók. [4]

A K-terminál-megbízhatóság kapacitás szempontjából meglehetősen szabadon kezeli a hálózatot. Általában azt feltételezi, hogy egy élen a szükséges kapacitás minden esetben rendelkezésre áll. Emiatt értéke inkább egy logikai felső határt ad meg a hálózat megbízhatósági és rendelkezésre állási képességeit mutató egyéb jósági tényezők eredményei számára. (Ilyen mutató lehet pl. a későbbiekben tárgyalásra kerülő teljesítmény index.)

Két csomópont esetén — azaz a hálózat egy adott útjának vizsgálatakor — a K-terminál-megbízhatóság értéke attól függ, hogy az igény mely úton vezetjük el, és ezt milyen módon védjük. Ebben az esetben a K-terminál-megbízhatóság az összekötetés valószínűségét adja meg egy útra. A szabványban is leírt DTR is hasonló jellemző, mely a működésképtelen idő és összes vizsgált idő arányával szintén a rendelkezésre állás ill. kiesés valószínűségét adja egy út hosszában.

Ennek számítása az út elemei jellemzőinek pontos ismeretén alapul. Figyelembe kell venni, a vizsgált élek és az út csomópontjainak megbízhatóságát, rendelkezésre állását, meghibásodási valószínűségét.

Tehát egysíkú hálózatok vizsgálhatók a hálózat adott útjainak megbízhatóságaival, de az egész hálózat ezeknek az utaknak a megbízhatósági értékeivel hálózati szinten nem jellemzhető. Az útjellemzők számítása reális időn belül megoldható probléma. Ebben az esetben az egyes utak egymástól függetlenül kezelendők. Csak önmagában vizsgálunk egy elvezetést, és majd az eredményeket tesszük csak egymás mellé.

Másfelől lehet ezeket az utakat hálózati szinten is vizsgálni, figyelembe véve a hálózat egészének állapotát, azaz a többi elvezetés pillanatnyi helyzetét. Ez a probléma már összetettebb. A hálózatot különböző hibamélységig lehet elemezni akár egy út, akár az utak összefüggő kezelése esetén. A 7.. fejezetben az ilyen jellegű paraméterek megfelelő közelítő számítási módszerét ismertetjük.



### 5.1.3. Megfelelőségi mutatók

Szintén a hálózatot ill. útjainak megbízhatóságát jellemezhetjük az úgynevezett teljesítmény index (*performance index*) segítségével. [5] [6]

Ezt a mutatót először a megbízhatatlan élekkel rendelkező gráfon történő maximum folyam problémára alkalmazták.

#### Teljesítmény index maximális folyam problémára

Az általános gráfleírást ez a modell egy kapacitás függvénnyel egészíti ki, mely megadja, hogy az egyes élek milyen kapacitással rendelkeznek. (Azaz minden  $e_{ij} \in E$  élhez egy  $c_{ij}$  kapacitást rendel.) Ezen felül definiál egy megbízhatósági függvényt is, mely az élek rendelkezésre állását adja meg minden élre. ( $p_{ij}$  az  $e_{ij} \in E$  él rendelkezésre állási valószínűsége.) Az élek kétállapotúak, azaz vagy működő képesek vagy nem használhatók. Legyen  $S$  a hálózat állapotainak halmaza és  $P(S_i)$  egy állapot előfordulási valószínűsége. (Ha  $m$  db. kétállapotú él van, akkor  $|S| = 2^m$ .) ( $P_S = 1$ . Tehát  $S$  az  $S_i$  állapotok összessége; egy  $S_i$  állapot  $P(S_i)$  valószínűséggel következik be, és mivel valamelyik állapot biztos fennál, az állapotok összességének bekövetkezési valószínűsége ( $P(S)$ ) összesen egyet ad.)

Legyen  $s$  és  $t$  egy vizsgált — forrás és nyelő — pontpár, és  $f_{max}$  a kettő között meghatározható maximális folyam mérete, ha minden él üzemképes. Legyen  $f_i$  a maximális folyam értéke  $S_i \in S$  állapotban és definiáljunk egy súlyfüggvényt minden állapotra a következő képpen:  $w_i := \frac{f_i}{f_{max}}$ .

Definíció szerint a teljesítmény index a megbízhatatlan élű gráfon megvalósított maximum folyam problémára a következő:

$$PI = \sum_{S_i \in S} w_i \cdot P(S_i)$$

A definíció tehát  $2^m$  számú elem összegzése, ahol egy darab ( $w_i$ ) súlytényező kiszámítása sokszor már önmagában is nehéz. Ennek a jellemzőnek az értéke a gyakorlatban azt jelenti, hogy ha egy pontpár között pl.  $f_{max} = 5$  egység,  $PI = 0.864$  akkor a pontpár között átlagosan  $5 \cdot 0.864 = 4.32$  egységnyi igény továbbítható.

#### Hálózati teljesítmény index

Ez a mutató az alkalmazott modelljében az előző megoldást terjeszti ki többtermékes folyamproblémára is. A következőkben egy elméleti síkon meghatározott jellemző definiálása található, melynek gyakorlati tartalommal történő feltöltése a későbbiekben található.

Legyen  $|E| = m$  és  $S$  a hálózat lehetséges állapotainak halmaza. Legyen  $P(S_i)$  az egyes  $S_i \in S$  állapotok előfordulási valószínűsége. Legyen  $Perf_{max}$  egy általános  $T$  feladat legjobb megoldása a hálózatban, az összes él működőképessége mellett.  $Perf_T(S_i)$  pedig a megoldás teljesítménye  $S_i$  állapotban. (Például  $T$  feladat lehet egy adott igénymátrix igényeinek elvezetése egy hálózaton minimális értékű maximális éltelheléssel. Ez a  $T$ . Ennek különböző megvalósításai adják az  $S_i$  állapotokat, a legjobb állapothoz tartozó minimális nagyságú maximális kapacitás érték nagysága pedig  $Perf_T(S_i)$ . A legjobb állapotnak az számít, melyben ez az érték a többihez képest a minimális.)

Ekkor a hálózati teljesítmény index definíciója a következő:

$$NPI_T = \sum_{S_i \in S} \frac{Perf_T(S_i)}{Perf_{max}} \cdot P(S_i)$$

Ez a definíció gyakorlatilag csak egy matematikai keretet biztosít az alkalmazó számára. Segítségével különféle megbízhatósági mutatók értelmezhetők. Ilyen például a következő két jellemző is, a statikus és a dinamikus hálózati teljesítmény index.

A **statikus hálózati teljesítmény index** azt mutatja meg, hogy meglévő igényelvezetés mellett az összes igény hányad része lesz elvezethető a védelem nélküli hálózatban. A fenti keret egyes tagjainak értelmezése a következő:

- $S$  a hálózat összes állapotainak halmaza,
- $S_i \in S$  ezen állapotok közül egy,
- $d_{ij}$  nem irányított  $i$ -ből  $j$ -be tartó igény,
- $Perf_{max}$  a hálózaton elvezetendő összes igény összege, azaz

$$d_{sum} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n d_{ij}$$

- és legyen  $d_{act}(S_i)$  az  $S_i$  állapotban elvezethető igények összege

A fentiek segítségével a statikus hálózat teljesítmény index a következő:

$$NPI^{stat} = \sum_{S_i \in S} \frac{d_{act}(S_i)}{d_{sum}} \cdot P(S_i)$$

A fenti modell prioritásos igények esetén kiterjeszthető még egy igényenként figyelembe veendő  $w_{ij}$  fontossági jellemzővel.  $w_{ij}$  a  $d_{ij}$  igény fontosságát

jelző költségtényező típusú jellemző. Használata esetén az igényeket ezzel a jellemzővel súlyozva kell figyelembe venni a számításnál.

Lehetséges használata pl. ha az előző képletben  $d_{sum}$  és  $d_{act}(S_i)$  számításakor az igényeket ezzel a tényezővel súlyozzuk, azaz  $d_{sum} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n d'_{ij}$ , ahol  $d'_{ij} = d_{ij} \cdot w_{ij}$ , és  $d_{act}$  számításánál hasonló képen ezt a  $d'_{ij}$ -t használjuk fel. Ezen változtatással az előző képlet használható a különböző fontosságú igényeket kiszolgáló hálózatok teljesítmény indexének meghatározásához is.

A modell az alkalmazott utak szintjére is kiterjeszthető. Legyen  $P(R_{st})$  annak a valószínűsége, hogy az  $s$  és  $t$  csomópont közötti út  $R_{st}$  rendelkezésre áll a  $d_{st}$  igény elvezetésére. Egyetlen együtasan elvezetett (nem átrendezhető) igényt tekintve a hálózaton a teljesítmény index a következő képpen alakul, ha  $p(e_i)$  az  $e_i$  él rendelkezésre állási valószínűsége:

$$NPI^{stat}(d_{st}) = P(R_{st}) = \prod_{e_i \in R_{st}} p(e_i)$$

Több igényt tekintve a megoldás kiterjeszthető:

$$NPI^{stat}(d_{st}) = \frac{\sum_{d_{st} > 0} \left( \prod_{e_{ij} \in R_{st}} p(e_{ij}) \right)}{d_{sum}}$$

Más szóval, a statikus hálózati teljesítmény index azt mutatja meg, hogy a hálózaton elvezetésre kerülő utak közül átlagosan mennyit tudnak elvezetni, ha az éppen vizsgált  $T$  feladat az elvezetett igényeket jellemzi. [7]

A **dinamikus hálózati teljesítmény index** a dinamikusán kezelt hálózatok esetén nyújthat információt a hálózatról. Ilyen hálózat tipikusan az átrendezhető tartalékokat tartalmazó szövevényes architektúrán megvalósított átviteli hálózat fajta. Ezt az átrendezést a helyreállítás típusú védelem vezérli, ezért a feladat bonyolultságáról a 6.1. fejezetben lesz szó. Itt röviden magának a dinamikus NPI-nek a definiálását mutatjuk be.

A modell a kapacitások kezelésére szolgáló élenkénti  $c_{ij}$  és  $r_{ij}$  üzemi és védelmi kapacitásléírókkal egészül ki. A modell a  $d_{act}^*$  segítségével határozza meg a teljesítmény indexet, ahol  $d_{act}^*$  a kiterjesztett hatékonyság minden egyes állapotban, az igények potenciális újraelvezetése és a tartalék kapacitások felhasználása mellett. A definíció pedig a következő:

$$NPI^{dyn} = \sum_{S_i \in S} \frac{d_{act}^*(S_i)}{d_{sum}} \cdot P(S_i)$$

A statikus és dinamikus indexet összehasonlítva a következő kapcsolat figyelhető meg:

$$NPI^{stat} \leq NPI^{dyn}$$

Különbéle védelmek alkalmazása mellett a megbízhatóság növekszik, de a számítás is bonyolódik. Ennek részletesebb vizsgálata a védett hálózatokkal foglalkozó részben található.

## 5.2. Többsíkú hálózatok

A védelem nélküli többsíkú hálózatok a megbízhatóságszámítás szempontjából nem igen térnek el az egysíkú hálózatoktól. (Pl. azonos módon kell a hálózat egy útjának a rendelkezésre állási jellemzőit kiszámolni.) Az azonos számítás mellett viszont az eredmények nem lesznek azonosak. Ennek oka, hogy a hierarchikusan szervezett hálózatokban az igényeket csak bizonyos megkötések mellett lehet elvezetni. Többrétegű hálózatban pl. csak a felépített hierarchiarendszer figyelembe vétele mellett. Azaz egy alstruktúrában belül az elvezetés azonos az egysíkú hálózatokéval. De az alstruktúrák közötti elvezetések a struktúrák előre definiált ki és belépőpontjain (a HUB-okon) keresztül vezethetők csak el. Emiatt egybe tekintve az egész hálózatot, lehetséges, hogy az egyes utak a hierarchikus megkötöttségek miatt hosszabbak lesznek, több útnak lesz közös szakasza melynek kiesése rosszabb hatással lehet a hálózatra, mint az egysíkú hálózat egy átlagos szakaszának kiesése. Lényegesebb számítási eltérések a különféle módon megvalósított védelmek esetén lehetségesek.

## 6. fejezet

# Védett hálózatok

### 6.1. Korrektív védelem — Helyreállítás

A helyreállítás, azaz a *restoration* típusú védelemmel kapcsolatban a következők állapíthatók meg.

Ennek a védelmi típusnak a lényege, hogy a hálózatban továbbítani kívánt igények útját, mindig a hálózat pillanatnyi állapotához képest legoptimálisabban megfelelő elvezetéssel továbbítja. Alapesetben, ha nincs hiba a hálózatban, akkor az igények az eredeti üzemi kapacitásokon kerülnek továbbításra, a tartalék kapacitások pedig vagy kihasználatlanok, vagy kisebb prioritású igények továbbíthatók rajtuk.

Meghibásodás esetén, a hálózat dinamikusan reagál a hibára. Azaz a hálózatba — a védelem számára — beépített többlet kapacitások felhasználása segítségével, az igények egy, az új állapotot figyelembe vevő rendezési algoritmus szabályozásával újra elvezetésre kerülnek. Helyreállítás típusú védelem esetén, a védelmi kapacitások nincsenek előre hozzárendelve az üzemi kapacitásokhoz, azok felhasználása mindig a hálózat pillanatnyi állapotának függvénye.

Ez a megoldás, elméletileg a legoptimálisabb eredményt képes produkálni, a ráfordítás/hatékonyság arány szempontjából, de a megvalósítás szemszögéből meglehetősen nagy bonyolultságú. Ezért a gyakorlatban nem igen terjedt el. Egyrészt a megvalósításra képes igen összetett hálózatmenedzsment igény miatt, másrészt, a jelenleg alkalmazott hálózatok mérete, az újraelvezetést végző algoritmus számítási idejét, a valósidejű számítás és átkapcsolás szempontjából elfogadhatatlanul nagy mértékben növeli. Elképzelhetők ezen módszer módosított változatai is, ezekben az esetekben, vagy előre számolt elvezetési táblák segítségével, vagy a hálózat particionálásával növelik a hálózat reagáló képességét, azaz hiba kiküszöbölés idejét. Ezekben az esetekben romlik a helyreállítás

hatékonysága, mert nem biztosított, hogy a pillanatnyi állapotnak megfelelő legoptimálisabb megoldást fogja a védelem alkalmazni.

Megbízhatósági szempontból is igen nehéz és bonyolult ezen védelmi móddal biztosított hálózatok pontos megbízhatósági számítását megadni. Mivel a gyakorlatban — már a védelem bonyolultsága miatt is — csak kevéssé elterjedt az ilyen típusú hálózatok alkalmazása, ezért a tanulmány sem foglalkozik mélyre hatóan ezen hálózatok megbízhatósági számításával.

Minden esetre a probléma szemléltetéséhez a következőket vegyük tekintetbe. Adott egy helyreállítás típusú védelemmel védett hálózat. Hibamentes esetben a megbízhatóság számítása a nem védett hálózatokéhoz hasonlóan elvégezhető. Természetesen ez csak egy része lesz ezen hálózat megbízhatósági leírásának. Jelen esetben figyelembe kell venni, hogy milyen meghibásodásra milyen változások történnek a hálózat működőképességében. Mivel a hálózat dinamikusan alkalmazkodik a meghibásodások pillanatnyi állapotához, a hálózat adott kapcsolatai és összeköttetési mindaddig megvalósíthatóak és biztosíthatóak, míg a szükséges tartalék kapacitások segítségével a védelmi algoritmus képes az elvezetések megfelelő át konfigurálására. Tehát a pontos megbízhatóság számításához végig kellene nézni legrosszabb esetben a vizsgált összeköttetés szempontjából hálózat összefüggését megszüntető hibák számáig a meghibásodások összes lehetséges számát és fajtáját, ill. azokat, melyek során egy hiba a vizsgált összeköttetés üzemi útját érinti. Ha a vizsgált modellben kezeljük az él kapacitás jellemzőit is, tehát figyelembe vesszük, hogy egy élen csak adott, véges mennyiségű igényeket lehet elvezetni, akkor már ennél a hiba számnál kevesebb hibára is megszakadhat a vizsgált kapcsolat a rendelkezésre álló védelmi kapacitások felső korlátja miatt bekövetkező telítődés miatt. Ez azt jelenti, hogy a bekövetkező hibák miatt más úton elvezetett igények felhasználják a közös célú felhasználásra biztosított védelmi kapacitásokat. Ekkor ha egy igényt egy újabb meghibásodás miatt másfele kellene elvezetni, hiába összefüggő még a hálózat, nincs már szabadon felhasználható védelmi kapacitás az összefüggőséget biztosító él(ek)en, azaz a vizsgált kapcsolat megszakad. Ebből látszik, hogy a bekövetkező hibák nem csak a konkrétan vizsgált és tönkretett üzemi összeköttetéseket érintik, hanem közvetett hatással vannak a hálózat többi összeköttetésére is. Ez annak a következménye, hogy a védelemben alkalmazott többlet kapacitások nincsenek előre kiosztva, így szinte az összes igény felhasználhatja azokat a menedzsment döntésének megfelelően. Ennek az esetnek a megbízhatósági elemzése nagyságrendileg nagyobb bonyolultságú

a fix elvezetésű eset vizsgálatánál.

Az igényeket nem átrendezhető fizikai eszközökön elvezető védett architektúrák hálózati szintű vizsgálata, melyben az egyes igények útjainak állapotai függenek egymás hatásaiól, közel azonos bonyolultságú mint az átrendezhető tartalékhálózatok vizsgálata, így annak precíz megoldása esetén a fenti probléma is kezelhetőnek tűnik. A kérdés, hogy hálózati szinten összefüggő meghibásodások és elvezetések kezelhetőek-e a megbízhatósági számítás keretein belül.

## 6.2. Preventív védelem

Különbéle védelmek alkalmazása mellett jobb megbízhatósági értékek érhetőek el az átviteli hálózatokban. De érdemes szem előtt tartani, hogy abszolút megbízható azaz 1 valószínűséggel rendelkezésre álló hálózat nem létezik. Persze a megfelelő védelem alkalmazása sokat javíthat a vizsgált megbízhatósági jellemző értékén és így magán a hálózat megbízhatóságán is.

A következőkben a különböző típusú hálózatok és az ezeken alkalmazott védelmi módok esetén vizsgálja a tanulmány, hogy a védelem alkalmazása milyen hatással van a megbízhatóság számításra. Ez inkább nagyságrendi vizsgálatot jelent mint konkrét értékeket, olyan szempontból közelítve a kérdést, hogy az algoritmust mennyire kell elbonyolítani a védelem figyelembe vételéhez, és ez milyen módon tehető meg.

A fejezetben tárgyalt *protection* típusú védelmet a gyakorlatban is számos helyen alkalmazzák. Lényege, hogy a hálózatba többlet kapacitásokat építenek, melyek helye, mennyisége (nagysága), és használója előre adott. Azaz már a tervezés során ismertek a védeni kívánt igények, ezek nagysága és elvezetése. És a tervezés alatt az alkalmazott védelemtől függően beépítik ezen igényeknek a védelmi megvalósítását is. Mivel védeni a hálózat eltérő részeit lehet, a védelmet általánosan valamelyik részre (üzemi egységre) fogalmazzák meg, a hozzá tartozó védelmi eszközök (védelmi egységek) segítségével. Ennél a védelmi módnál a védelmi és az üzemi egységek előre összerendelvek, bármelyik védelmi egységről megállapítható, hogy mely üzemi egység fogja hiba esetén felhasználni. A többlet védelmi redundanciák (a védelmi egységek) használata üzemi esetben eltérő lehet az alkalmazott védelemtől függően. Elképzelhető, hogy hiba nélküli esetben más az eredetitől eltérő célra is (pl. kisebb prioritású igények szállítására) használhatók. Ez tipikusan a később bemutatásra kerülő szakaszvédelem esetében lehetséges.

### 6.2.1. Egysíkú hálózatok

#### Útvédelem

Az útvédelem a következőket jelenti. A hálózati elvezetések az igényeket a forrás csomópontból a nyelőbe a hálózat szakaszainak során (a hálózat egy útján) vezetik el. Útvédelem esetén ezt az egész utat tekinti a megoldás egy önállóan védendő egységnek, így a védelem megvalósítása során egy úgynevezett védelmi utat is megterveznek, mely az üzemi út hibája esetén, ahelyett szállítja az igényeket. Ahhoz, hogy egy hiba esetén ne essen ki csak maximum az egyik út, a hálózatnak szigorú topológiai követelményeknek kell eleget tennie. Biztosítani kell a két út számára a csomópont független elvezetés lehetőségét. Ha ez adott, csak abban az esetben van lehetőség a védelem megvalósítására.

Ez a különböző megbízhatósági számításokat a következő módokon befolyásolja:

- *Összefüggőség* szempontjából, kétszeresen csomópont összefüggőnek kell lennie a gráfnak (a hálózatnak)  $\kappa(G) = 2$ , mert csak ebben az esetben ad a topológia lehetőséget az útvédelem megvalósítására. Tehát az összefüggőség számítása a védelem nélküli megoldás számításával azonos, csak a védelem megvalósíthatósága támaszt az eredménnyel szemben szigorúbb követelményeket. (Nem elég az egyszeres összefüggőség.)
- Az *átmérő*  $d(G)$  szempontjából, el kell dönteni, hogy a védelem nélküli esetre értelmezett definíció segítségével számított legrövidebb utat a védelem esetében hogyan értelmezzük. Lehetőség van az üzemi út hosszát figyelembe venni, esetleg az üzemi és védelmi út összegének a hosszát, vagy a kettő valamilyen súlyozott átlagát. Ennek meghatározása után maga a számítás nagyságrendileg nem lesz bonyolultabb mint a védelem nélküli esetben.  $n$  számú út esetén védelem mellett  $2n$  számú utat kell a feladat megoldásához megvizsgálni.
- A *K-terminál-megbízhatóság* esetén az védelem nélküli hálózatokra definiált megbízhatósági jellemző számítás már megfelelő útvédett hálózati esetben. Ha a K-terminál-megbízhatósági jellemzőt használni szeretnénk akkor át kell értelmezni a jelentését, vagy át kell definiálni a követelményeit. A követelmények átdefiniálása a következő lehet, a kiválasztott K terminál bármely két pontja között legalább két csomópont független útnak kell lennie útvédett hálózatban. Ennek számítása bonyolultabb mint az eredeti K-terminál-megbízhatóságé, és mivel már az is NP-teljes probléma, ez a kiterjesztett probléma is nagyvalószínűséggel az NP-teljes problémák csoportjába tartozik.



- A *DTR típusú vizsgálatok*, melyek az utak rendelkezésre állásának illetve kiesésének valószínűségével jellemzik a hálózatot jól alkalmazhatók ez esetben. A probléma megoldása annyival bonyolódik, hogy ahhoz, hogy az igényt el lehessen vezetni, a két párhuzamos út működési valószínűségét kell figyelembe venni. A független út hibák egyensúlyi vizsgálatának képlete ez esetben (két útra):

$$P_{elv.} = 1 - P_{error1}P_{error2}$$

azaz, az elvezethetőség valószínűsége ( $P_{elv.}$ ) az egyik illetve a másik út kiesésének valószínűségével ( $P_{error1}$  és  $P_{error2}$ ) számítható ki. Ez a számítási mód az átmérő számításához hasonlóan az útszám arányában növeli a számításigényt, de a probléma megoldása nem jár nagyságrendi számítási kapacitásigény növekedéssel.

- *Hálózati szinten* vizsgálva az utak megbízhatóságát az esetleges összefüggések és egymásrahatások figyelembe vételével, az amúgy is esetenként NP-teljes kategóriába tartozó problémák még tovább bonyolódnak. A számításokat a hálózati egymásrahatások figyelembe vétele útvédett esetben oly módon befolyásolja, hogy az egyszeres hibákat nem kell figyelembe venni, a többszörös hibákat pedig abban az esetben kell figyelembe venni, ha bármelyik igény üzemi és védelmi útját is érintik. Mivel minden védett útnak saját védelmi elvezetése van, magának a védelemnek a bevezetése az egymásra hatásokat nem befolyásolja csak a meghibásodások hatása változik.

- A *teljesítmény index* jellemzők szintén máshogy számítandók, ha az útvédelem mellett is alkalmazni szeretnénk őket. Lényegében a statikus jellemzőt lehet útvédelemre átalakítani. Ekkor gyakorlatilag az állapotokat és azoknak a megvalósulási valószínűségét kell a jellemző számítása előtt átértelmezni ill. megvizsgálni. A 5.1.3. fejezetben bemutatott esetekben a hálózat egy állapota megszabta, hogy mely igények elvezethetők és melyek nem, majd az adott állapotban elvezethető igények összegét felhasználva az állapot valószínűségével súlyozva határozta meg az algoritmus a teljesítmény indexet. A számítási mód valójában a védelemmel nem változik, csak az egyes ( $S_i$ ) állapotokban lesz eltérő az elvezethető igények összege a védelem nélküli állapotokhoz képest, mert a védelem miatt bizonyos hibák mellett is elvezethetők maradnak az igények. A hálózat állapota ebben az esetben is egyértelműen megszabja, hogy mely igények vezethetők el és melyek nem, de egy adott állapotban a védelem miatt több (vagy esetleg ugyanannyi) igény lesz elvezethető. A számítás tehát azzal a segédszámítással bonyolódik, mely a hibák esetén kiszűri, hogy egy adott ( $S_i$ )

állapotban végül is mely igények vezethetők el (akár az üzemi akár a védelmi út segítségével) és melyek esnek ki. Az eredményt is ennek a tükrében kell értékelni. Az útvédett hálózatok hálózat indexe jobb értéket mutat mint a nem védett hálózatoké.

- A *dinamikus teljesítmény* indexnek sem itt, sem a többi *protection* típusú védelemnél nem értelmezhető, mert az az átrendezhető tartalékokra épül.

### Szakaszvédelem

A szakaszvédelem során az igényeket továbbító utak nem egészükben védettek, hanem az út egyes szakaszai kerülnek külön-külön, egymástól függetlenül védelem alá. Valójában nem is az igények útjainak szakaszairól van szó, hanem a hálózat egy szakaszáról. Ez fizikailag természetesen azonos dolgot takar, de a megközelítés eltérő. Tehát a hálózat egy védett szakaszának a védelme azt jelenti, hogy a védendő szakasznak létezik egy kerülő útja, melyen az eredeti szakasz sérülése esetén a hálózat, az eredeti szakaszon továbbított védett igényeket el tudja vezetni a sérült szakasz két végpontja között. Tehát üzemi állapotban egy szakaszon továbbításra kerül valamennyi igény, melyeknek az útja a kérdéses szakaszt tartalmazza az elvezetésében. Ennek a szakasznak a kisése esetén, (ha védve van,) az igényeket az eredeti útjukból kicsatolva a szakaszt elkerülő úton vezetik el a védett hibás szakasz kezdőpontjából a végpontjába, ahol az igényeket az eredeti útjukba vissza csatolják. A védelmi és az üzemi kapacitások előre összerendelve. A hálózaton egyszerre kell védett és nem védett igényeket elvezetni a szolgáltatónak. Mivel a szakaszvédelem a hálózati szakaszok szintjén valósítja meg a védelmet, azaz a védett szakasz minden igényét átereli a szakaszt elkerülő védelmi útra, a nyaláboláskor kell azt biztosítani, hogy nem védett igények ne haladjanak ezen a szakaszon. Ennek hiányában a védelem megvalósítása során nem védett igényeket is védeni fog a hálózat, ami az üzemeltetőnek nem célja.

A szakaszvédelem hatása a különböző megbízhatósági jellemzőkre a következő:

Összefüggőség szempontjából az útvédelemhez hasonlóan szükséges a minimum kétszeres csomópont összefüggőség,  $\kappa(G) = 2$ . Csak ebben az esetben lesz lehetőség minden egyes szakaszhoz, egy kerülő utat találni. Ez gyakorlatilag a szomszédos csomópontok két csomópont független összekötései lehetőségét jelenti.

A legrövidebb utak kiszámítására a szakaszvédelem nincs hatással, mert a védelem az egyes szakaszokra vonatkozik, egy szakaszt pedig több különböző út is igénybe vehet. Tehát az üzemi utak és a védelmi szakaszsorozatok nem kölcsönösen egyértelműen összerendelhetők. Ennek ellenére figyelembe lehet venni az üzemi úthoz — ill. annak szakaszhoz — tartozó védelmi szakaszok számát, hosszát, stb... De ennek felhasználhatósága megkérdőjelezhető, mert a segítségével nyerhető többlet információ műszaki szempontból nem használható.

A  $K$ -terminál-megbízhatóság, azaz, hogy egy  $K$  halmazon belül minden csomópont egymással összeköthető a védelem nélküli esethez hasonló módon értelmezhető. A védelem abba fog beleszólni, hogy egy hiba esetén még mindenképp a hibátlan állapot eredményét fogja a jellemző szolgáltatni, és több hiba esetén az eredménye erősen függ majd a hibák helyétől. Több hiba esetén a hibahelyek erősen befolyásolják a javíthatóságot. Tehát a hálózat állapotán kívül az elvezetések és védelmi elvezetések pontos ismerete és figyelembe vétele szükséges ahhoz, hogy az összeköthetőség ténye megállapítható legyen. Több hiba esetén a csomópontok akkor lesznek összeköthetők, ha a hibák olyan szakaszokat értek, melyek vagy nem használt védelmi szakaszok, vagy használható védelemmel rendelkező üzemi szakaszok. Az összeköttetés abban az esetben szűnik meg, ha egy szakasz és a védelmi útjának is egy szakasza egyszerre esik ki. Ennek számításigénye nagy, hisz már az alap probléma is az NP-teljes probléma csoportba tartozott, és annak kibővítése a szakaszok és védelmi elvezetések folyamatos figyelésével és analizálásával csak bonyolítja a problémát.

A DTR típusú vizsgálatok esetén a vizsgált út rendelkezésreállási valószínűségének kiszámítása bonyolódik. Védelem nélküli esetben az egyes szakaszok rendelkezésreállási valószínűségei adták meg a számítás alapjait. Így van ez ebben az esetben is, csak ezeknek a szakaszoknak a rendelkezésre állása most nem csak a meghibásodás valószínűségétől, hanem a védelmi útjuk működő képességétől is függ. Ennyivel bonyolódik a számítás a pont-pont összeköttetések vizsgálata esetén. Hálózati szinten vizsgálva ezt a jellemző típust, a kérdés bonyolultabb mint a sima pont-pont összeköttetés esetén. Az algoritmusnak azt is vizsgálni kell, hogy összeségében az kiesett szakaszok mely más szakaszok védelmi útjában vettek részt, és ezek a szakaszok üzemképesek-e, vagy esetleg a nem üzemképes védelmüket kívánják felhasználni.

A teljesítmény indexek az útvédelemhez hasonló módon értelmezhetők és kezelhetők, illetve a számítási eltérés a nem védett megoldáshoz képest az egyes

állapotokban elvezethető igények összegének meghatározásában van.

A védett egysíkú hálózatok esetén több védelmi eljárást definiáltak, de ezek közül az út és a szakaszvédelem a leginkább elterjedt és használt védelmi mód, ezért a tanulmány is ezeket mutatta be részletesen.

### 6.2.2. Hierarchikus hálózatok

A hierarchikus hálózatok védelme is többféle képpen valósítható meg. Ki lehet használni, hogy a hálózat alrészekre tagolódik, és lehet ezeket az alhálózatokat önálló egységként is kezelni, de lehet a hálózatot egyben is kezelni. A következőkben mindkét típusra mutatunk jellemző példát.

A hálózati szintű átrendezhetőséget figyelembe vevő megoldások két féle képen képzelhetők el. Ha csak alstruktúrában belül lehetséges, akkor a helyzet az egysíkú hálózatokéval azonos, kezelése meglehetősen bonyolult, esetleg az új állapotot fixnek tekintve lehet a későbbiekben leírtak szerint valamelyik védelemhez hasonlóan kezelni, de ezt semmi nem biztosítja. Ha az átrendezés teljes hálózati szinten lehetséges, akár a struktúrák megváltoztatásával, akkor a probléma egyelőre a reálisan nem kezelhető esetek közé tartozik hálózati méretekben.

### 6.2.3. Alstruktúrák védelme

Az alstruktúrák védelme esetén az igényről csak azt tartják számon, hogy védeni kell a hálózatban. Ez a védelmi mód ezt úgy oldja meg, hogy az igényt mindég az éppen megfelelő alstruktúrára definiált védelmi móddal védi. Tehát a hálózat egyes szintjeit önálló egységnek — egysíkú hálózatnak — tekintik, amikben az átmenő igények védelmét a többi alstruktúrától függetlenül az alhálózat saját védelme határozza meg. Így tehát egy védett igény útja a hálózatban például a következő képpen alakulhat: az igényforrást tartalmazó alstruktúrában szakaszvédelemmel védik, majd egy köztes szinten útvédelemmel, és a nyelőt tartalmazó alstruktúrában például megint szakaszvédelemmel.

Mivel az alstruktúrák csak bizonyos pontokon kapcsolódhatnak a felsőbb szintekhez, ezeknek a pontoknak a működőképessége ill. védelme kiemelt szerepű. Általában egy alstruktúrában két ilyen HUB pont van, így az egyik meghibásodása esetén az alstruktúra még kapcsolatban marad a hálózat többi részével. Ezt a típusú kapcsolódást nevezik *dual-homing* elrendezésnek.

Az egyes megbízhatóság elemzések a következő képpen alakulnak alstruktúrák menti védelem alkalmazása esetén:

Az összefüggőség számítása két részből áll. Egyrészt számíthatók az egyes alstruktúrák összefüggőségei, amik gyakorlatilag a HUB-ok számával adóttak, másrészt az egyes alstruktúrákon belüli összefüggőség alstruktúrák menti. Ezen értékek közül a legkisebb lesz a teljes hálózat összefüggősége. Ez a módszer várhatóan egyszerűsíti az összefüggőség számítását a hálózatban, mert ugyan több de kisebb egységre kell elvégezni. Dual-homing alkalmazása esetén a legjobb érték is csak  $\kappa(G) = 2$  lehet, azaz a hálózat az azonos alstruktúrához tartozó két HUB csomópont kiesése esetén már nem lesz összefüggő.

Az átmérő szempontjából vizsgálva a hálózatot, a vizsgálat nem bonyolultabb mint az egysíkú nagyméretű hálózatok esetén, viszont a különböző alstruktúrák közti igények útjainak hossza adhat kedvezőtlenebb eredményt az elvezetési megkötöttségek miatt. Alstruktúra menti igények vizsgálata esetén a számítás a megfelelő védelemmel ellátott egysíkú hálózatokéval azonos.

A K-terminál megbízhatóság. Alhálózati szinten (ha az a vizsgált csomópontok egy alstruktúrában vannak,) az eset megegyezik az egysíkú megfelelő védelemmel ellátott hálózatokéval. Így megadható az egyes alstruktúrák K-terminál-megbízhatósága. Hálózati szinten ezek közül a legrosszabb vehető a hálózat megbízhatóságának, ha a több alstruktúrába foglaló csomópont-halmazokra nem kapunk rosszabb értéket. Ez pedig az alstruktúrák kapcsolódási módjaitól függ. Ezeket az értékeket a szomszédos alstruktúrák közös K-terminál-megbízhatóságai megadják. Tehát gyakorlatilag a hálózati szintű megbízhatóság meghatározásához meg kell adni az egyes alhálózatok és a szomszédos alhálózatok megbízhatóságát, majd ezek közül a legrosszabb lesz az egész hálózatot jellemző érték. Az eredeti definíció azt jelenti, hogy K számú csomópontot vizsgál az algoritmus, ez esetben K nem lehet nagyobb mint egy vagy két szomszédos alstruktúra csomópontjainak száma. Az alstruktúrák megbízhatóság számítása az egysíkú védett hálózatokénál leírt K-terminál-megbízhatóság számításával egyezik meg. A szomszédos alstruktúrák számításánál eltérő védelem mellett külön kell definiálni mit értünk adott esetben K-terminál-megbízhatóság alatt. Ez gondot jelenthet az eltérő védelmek melletti eltérő értelmezés miatt.

A rendelkezésre állás és DTR típusú vizsgálatokat viszont könnyebb elvégezni az alstruktúrák menti védelem esetén. A kisebb méretük miatt könnyebben kezelhető alhálózatokra az egysíkú hálózatoknál leírt módon kell a számítást el-

végezni, majd egy olyan elvi útra kell az előzőekben kapott eredmények segítségével újra elvégezni a számításokat, mely az előző alhálózatokat az előbbieken kapott rendelkezésre állási valószínűséggel egy-egy élként veszi figyelembe, és az átlépő pontokat a hálózatról szerzett információkból nyert megbízhatósággal veszi figyelembe. Természetesen az igény elvezetését is figyelembe kell venni az átlépő pontoknál, hogy egy vagy két HUB-on keresztül halad-e. Tehát két lépésben, de elemi műveletekkel lehet ez esetben az ilyen típusú megbízhatósági jellemzőket előállítani.

A statikus teljesítmény index számítása az egysíkú hálózatokéhoz hasonló módon számítható. De a számítást megkönnyíti az a tény, hogy az egyes állapotokra figyelembe lehet venni az algoritmusban, hogy az egyes alhálózatok kezelhetők együtt. Pl. Egy alhálózatra elég egyszer kiszámolni az aláhozaton belül hibátlan esetben elvezethető igények nagyságát, a továbbiakban az összes olyan állapotban amikor az alhálózat nem sérül ez az érték figyelembe vehető. És ehhez hasonlóan a különböző egy hibás stb... állapotok. Tehát várhatóan egyszerűsödik a számítása.

A bemutatott megoldásokból látszik, hogy alhálózati védelem esetén a következő szempontokat érdemes szemelőtt tartani. Alhálózaton belüli igények esetén a feladat egyszerűsödik, gyakorlatilag megegyezik egy alhálózati mérettű, egysíkú hálózat vizsgálatával a megfelelő védelem alkalmazása mellett. A struktúrák közti igényeket kell rétegelt hálózati viszonyok között vizsgálni.

### 1+1 hálózati szinten

A hálózati szinten alkalmazott 1+1-es védelem, gyakorlatilag egy teljes hálózati szinten történő útvédelemnek felel meg. A hálózat hierarchiáját és rétegeit csak az elvezetési megkötöttségek szintjén veszi figyelembe. Tehát a hálózatot egybe kezeli, és a teljes hálózaton biztosítja a két csomópont és élfüggetlen elvezetést ha ez lehetséges.

Ezért megbízhatósági jellemzőinek számításai az egysíkú útvédett hálózat jellemzőivel azonosak, avval a különbséggel, hogy a számítások során a megfelelő helyeken kezelni kell az elvezetés bizonyos kötöttségeit. Emiatt sok esetben a számítási mód az egysíkú útvédelemnek megfelelő móddal egyezik meg, de a nagyobb méretek miatt nagyobb számítási kapacitást igényel.

Összefüggőség szempontjából a hálózatot egybe nézve kell a kétszeres összefüggőséget biztosítani. A számítás az egysíkú hálózatéval azonos, de a nagy

méretetek miatt igen nehézkes lehet.

Átmérő szempontjából az elvezetési megötöttségek miatt az utak hosszabbak lehetnek, de a számítás egyező az útvédett egysíkú hálózatéval.

K-terminál-megbízhatóság szempontjából, ami szintén inkább valamilyen összefüggőségi típusú mutató, a számítási méreteket egyszerűsíti a hierarchikus felépítés, a csak útvédett alstruktúrákat alkalmazó alstruktúránkénti védelemhez hasonlóan számítható.

A statikus teljsítmény index szintén az útvédett egysíkú hálózatokéhoz hasonló módon számítható.

### **Alhálózati védelem**

Az alhálózati védelem az alsturktúránkénti védelemhez igen hasonló védelmi mód. Gyakorlatilag egy kombinált védelmi fajta binyoson kötött jellemzőkkel, azaz egy olyan alsturktúránkénti védelem, ahol az alstruktúrák 1+1-es védelmet (útvédelmet) alkalmaznak, és az alstruktúrák egy ponton kapcsolódnak egymással a Kapcsolódási Ponton. A védelem számára két kapcsolódási pont közötti hálózati terület tekinthető egy alstruktúrának. A megoldás kevésbé veszi figyelembe a hálózati szintek közötti hierarchiát, inkább csak a hálózat részekre bontását alkalmazza. (Tehát nem kezeli az alá-fölé rendeléseket.)

Ezen jellemzőkből következnek a megbízhatósági számítások fő jellemzői, melyek gyakorlatilag a mindenütt útvédelmet és egyszeres kapcsolódási pontokat alkalmazó alhálózati védelem jellemzőivel egyeznek meg.

A fent bemutatott védelmek az egysíkú és a hierarchikus hálózatokban védett igények védelmei voltak, és a hozzájuk tartozó megbízhatósági számítások jellemzőit is ismertettük. A hálózatokban az igények nem egyformán fontosak, így általában védett és nem védett igények találhatók az elvezetni kívánt igények között. Ezekre a hálózati alapú megbízhatósági mutatók számításai (pl. összefüggőség) azonosak, bár elképzelhető, hogy a különböző esetekben eltérő eredmények lesznek elfogadhatók. (Pl. Egyszeres összefüggőség nem védett és kétszeres a védett igények esetében.) Egyes megbízhatósági jellemzők értelmezése védelem esetén az alkalmazott védelemtől függően más-más lehet, ennek oka, hogy az igazán hatékony elemzés érdekében a jellemzőket a vizsgált hálózat típusához kell igazítani. Ekkor a védett és nem védett igényeket tartalmazó hálózat más-más eredményeket mutathat aszerint, hogy melyik igény szempontjából vizsgáljuk. Ezek az eredmények többféle képpen értékelhetők.

Lehet egymás mellé téve bemutatni, hogy az egyiknek ezek az eredményei, a másoknak mások. Lehet őket súlyozva összegezni a védett és nem védett igények arányában, bár ennek a mutatónak a hatékonysága megkérdőjelezhető, és lehet csak a szigorúbb követelményeknek megfelelőt vizsgálni, mert ez biztos megfelel az enyhébb elvárásoknak is.

Míg a fentiekben nagyrészt a hálózat összeköttetésekének védelmét (az gráflek védelmét) vizsgáltuk, a következőkben a központok védelmi lehetőségeinek bemutatása következik. Ez a rész gyakorlatilag azt mutatja meg, hogy az előzőkben egyszerűen felhasznált központ és csomópont rendelkezésre állások valószínűségei, hogy számíthatók a hálózatról szerzett információk segítségével.

#### 6.2.4. Berendezés védelem

Az előző fejezetekben a központok meghibásodási valószínűségét egy konkrét értékkel vettük figyelembe. De ennek az értéknek a pontos — vagy közelítő — meghatározására is több mód van, az alkalmazott védelem függvényében. A következőkben a tanulmány áttekinti az alkalmazható védelmi módok típusait, hatékonyságát és ezek hatását a központok megbízhatóságára.

A központok megbízhatósága alatt a tanulmány az ajánlásokkal foglalkozó részben (2. fejezetben) bemutatott *megbízhatóság* címszó alatti ajánlásban rögzítetteket érti, azaz annak a valószínűségét, hogy a központ el tudja látni a tőle elvárt feladatokat.

#### Berendezés duplikálás

A központ egy berendezésére nézve 100%-os védelemnek nevezik az alkalmazott berendezés megduplázását. Ekkor a központban a berendezések száma megduplázódik, mivel minden berendezésnek külön védelmi párt biztosítanak. A berendezés duplikálás költségei a legmagasabbak a központ védelmére alkalmazható védelmi megoldások költségei között, de ez biztosítja a legjobb védelmi megoldást a több megoldással összehasonlítva.

A berendezésduplikálás hatása a megbízhatósági számításra a következő:

Ha feltesszük, hogy

- egy központban egy berendezést használunk fel,
- a hiba állapot tér két elemű, azaz a berendezésünk kétállaptú, tehát vagy működő képes, vagy nem,



- egy berendezés meghibásodási valószínűsége  $P_{BerHiba}$ ,
- a központ állapottere is kétállapotú, azaz vagy működőképes vagy nem, mivel egy berendezés található benne, és ennek működőképessége határozza meg a központét is.

akkor a központ megbízhatóságát  $R_{kp}$  a következő módon számíthatjuk:

$$R_{kp} = 1 - P_{BerHiba}^2$$

Ha a feltételekkel közelítjük a valóságot, azaz:

- egy központban több üzemi berendezést használunk,  $n$  az üzemi berendezések száma
- a berendezések hiba állapot tére két elemű,
- a központ állapottere  $2^n$  elemű, amelyek közül azt az állapotot tekintjük működőképesnek amikor az összes berendezés (akár a védelem segítségével) működőképes, a többi állapotban pedig nem tekintjük a központot működő képesnek.
- egy berendezés meghibásodási valószínűsége  $P_{BerHiba}$ ,

Megj.: Ekkor a központban a 100%-os védelem miatt  $2n$  számú berendezés kerül felhasználásra

A központ megbízhatósága ez esetben a következő módon számítható:

$$R_{kp} = (1 - P_{BerHiba}^2)^n$$

A valóság pontosabb leírására a több hibaállapotú berendezés és központ modellek lennének igazán alkalmasak, de ezek kezelése már túlbonyolíthatja a számítási eljárást. A következőkben tegyük fel, hogy:

- a központban  $n$  db. üzemi berendezést használunk fel, és mindegyiknek van egy neki megfeleltetett védelmi párja
- egy berendezés meghibásodási valószínűsége  $P_{BerHiba}$
- a berendezés hiba állapottere két elemű
- a központ állapottere  $2^{2n}$  elemű, azaz a működtetett berendezések száma és határozza meg,

- a központ működőképességét a következő módon definiáljuk: A központ  $(m/n) \cdot 100\%$ -ban működőképes, ha  $m$  számú berendezés (akár a védelmi berendezések segítségével) működőképes.

Ekkor ha  $R_{kp}^{m/n}$  azt jelenti, hogy a központ  $(m/n) \cdot 100\%$ -ban megbízható, és a különböző berendezések meghibásodási valószínűségei megegyeznek, ez a megbízhatóság a következő képpen számítható:

$$R_{kp}^{m/n} = \binom{n}{m} \cdot (1 - P_{BerHiba}^2)^m \cdot P_{BerHiba}^{2(n-m)}$$

Megj.: Ez a számítási mód, azt tételezi fel, hogy a központban az alkalmazott berendezések szabadon felhasználhatók bármely bejövő igény kiszolgálására.

Ha a figyelembe szeretnénk venni azt, hogy a berendezések is lehetnek kettőnél több állapotúak, azaz történhet, csak részleges meghibásodásuk is, akkor definiálni kell, hogy az egy üzemi egységhez tartozó védelmi egységet mikor és milyen arányban kívánjuk igénybe venni, hogy a védelmi berendezés alegységei hogyan rendelkezhetők össze az üzemi berendezés alegységeivel. Ezen jellemzők figyelembevétele még az eddigieknél is jobban elbonyolíthatja a problémát. Azaz számítható lesz a probléma, de túl nagy lesz a számítási igény.

A fentiekben a duplikált berendezés védelemmel ellátott központok megbízhatóság számítására találhatók számítási módszerek. Ezek a hálózat egy központjára vonatkoznak az adott feltételek mellett. Természetesen a központok megbízhatóság számításához szükség van a berendezések megbízhatóságára vagy (ami lényegében azonos leíró erejű jellemző) a berendezések meghibásodási valószínűségére.

### Iker berendezések alkalmazása

A berendezés duplikálás jellegű védelmi megoldást magas költségei miatt csak igen nagy fontosságú helyeken alkalmazzák. Helyette úgynevezett iker berendezéseket használnak.

Ennek lényege azon a tényen alapul, hogy a berendezések alegységei nem azonos valószínűséggel hibásodnak meg. Egy berendezés eltérő típusú alegységekből áll, és ezek megbízhatósága is eltérő. Az iker berendezések esetén a kis megbízhatóságú részek duplikáltak, a nagy megbízhatóságú részek egyszerűen beépítettek. Az duplikált részekből mindig az éppen működő használja az egyszerűen megvalósított berendezés részt.

Az ikerberendezések alkalmazása az előzővel közel azonos (kicsit rosszabb) jósági mutatókat ad, de költségei — a közösen használt berendezésrészből adódó csökkenés miatt — kisebbek, mint a duplikálása.

A berendezést a megbízhatósági számítások során a két rész, két eltérő megbízhatósági valószínűségével lehet jellemezni az egyes berendezések esetén. Tehát a közös rész meghibásodási valószínűsége:  $P_{kBerHiba}$ , a kettőzött rész meghibásodási valószínűsége külön-külön:  $P_{BerHiba}$ . Ezen két jellemző segítségével a központ felépítését és az ezt jellemző modellt figyelembe véve meghatározható a központ megbízhatósága.

Ha feltesszük, hogy:

- a központban egy berendezést használunk fel,
- a hiba állapot tér két elemű,
- a központ állapottere is két elemű az egy alkalmazott berendezés és annak két elemű állapot tere miatt.
- a berendezés egyes részeinek meghibásodási valószínűségei  $P_{kBerHiba}$  és  $P_{BerHiba}$ ,

akkor a központ megbízhatóságát  $R_{kp}$  a következő módon számíthatjuk:

$$R_{kp} = (1 - P_{BerHiba}^2) \cdot (1 - P_{kBerHiba})$$

Ha egy központban több berendezést tételezünk fel, azaz:

- egy központban  $n$  darab iker berendezést használunk
- a hiba állapot tér két elemű,
- a központ állapottere  $8^n$  elemű, mert a központon belüli berendezések három részből tevődnek össze, melyek mindegyike lehet működőképes és működésképtelen
- egy berendezés egyes részeinek meghibásodási valószínűsége  $P_{kBerHiba}$  és  $P_{BerHiba}$ ,
- A központ működőképességét úgy definiáljuk, hogy akkor működőképes, ha az összes berendezése (akár a védelem segítségével) működőképes, és minden más esetben nem az.

Akkor a központ megbízhatósága ebben az esetben a következő módon számítható:

$$R_{kp} = (1 - P_{BerHiba}^2)^n \cdot (1 - P_{kBerHiba})^n$$

Ha a központ állapotterét növeljük, és azt benne működő berendezések számával tesszük egyenlővé, akkor meghatározható a központ  $(m/n) \cdot 100\%$ -os megbízhatósága.

Tegyük fel, hogy:

- a központban  $n$  db. üzemi berendezést használunk fel,
- egy berendezés meghibásodási valószínűségei  $P_{BerHiba}$  és  $P_{kBerHiba}$ ,
- az alberendezések hiba állapottere két elemű
- a központ állapottere  $8^n$  elemű,
- és a központ  $(m/n) \cdot 100\%$ -ban működőképes, ha  $m$  számú berendezés (akár a védelmi berendezések segítségével) működőképes.

Ekkor ha  $R_{kp}^{m/n}$  azt jelenti, hogy a központ  $(m/n) \cdot 100\%$ -ban megbízható, ez a megbízhatóság a következő képpen számítható:

$$R_{kp}^{m/n} = \binom{n}{m} \cdot ((1 - P_{BerHiba}^2) \cdot (1 - P_{kBerHiba}))^m \cdot \alpha^{n-m}$$

ahol  $\alpha = 1 - (1 - P_{BerHiba}^2) \cdot (1 - P_{kBerHiba})$ .

Megjegyzés: Ez a számítási mód, azt tételezi fel, hogy a központban az alkalmazott berendezések szabadon felhasználhatók bármely bejövő igény kiszolgálására.

Ha a figyelembe szeretnénk venni azt, hogy a berendezések is lehetnek többállapotúak, azaz történhet részleges meghibásodás is, akkor definiálni kell, hogy a hozzá tartozó iker berendezés részt mikor és milyen arányban kívánjuk igénybe venni, hogy megvalósítható-e az, hogy ha az üzemi és védelmi rész eltérő részei hibásodnak meg, akkor mindkét alberendezésből csak a működő részt használja a központ. (Ez egyébként nem valószínű.) Ezen jellemzők figyelembevétele még az eddigieknél is jobban elbonyolíthatja a problémát ill. a megoldáshoz szükséges számítást.

A fentiekben az ikerberendezéssel védett központok megbízhatósági számításait tekintette át a tanulmány. A fenti megbízhatósági számítások a hálózat

egy központjára vonatkoznak, az adott feltételek mellett. A számítások a gyártók által megadott, vagy a szolgáltató tapasztalatai alapján megismert berendezés megbízhatósági vagy berendezés meghibásodási valószínűségeket használják fel.

### Osztott védelem

Az osztott védelem jellemzőivel akkor érdemes foglalkozni, ha központban több berendezés működik. Ez a védelmi mód  $n$  darab üzemi berendezés védelmére  $m$  darab tartalék berendezést rendel. (Speciális eset pl. az  $1 : n$  vagy az  $1 : 1$ -es megoldás.) A meghibásodott berendezéseket a védelem egészen addig helyettesíteni tudja a tartalék eszközökkel, amíg a kiesett üzemi eszközök száma nem haladja meg a tartalékok számát.

A központ megbízhatósága ( $R_{kp}$ ), az adott feltételek mellett:

- az üzemi berendezések száma  $n$ ,
- a védelmi berendezések száma  $m$ ,
- a berendezések meghibásodási valószínűsége  $P_{BerHiba} = p$ ,
- a berendezések kétállapotúak,
- a központ állapottere  $2^{n+m}$  elemű és a központ akkor működőképes, ha az összes ( $n$ ) üzemi berendezés — akár az  $m$  védelmi eszköz segítségével — képes a feladatát ellátni.

A központ megbízhatósága ekkor a következő képen számítható:

$$R_{kp} = 1 - \sum_{i=m+1}^{n+m} \binom{n+m}{i} \cdot p^i \cdot (1-p)^{n+m-i}$$

Ez a számítás a gyakorlatban alkalmazottaknak megfelelően azt tételezi fel, hogy bármelyik üzemi berendezés képes felhasználni bármelyik védelmi berendezést.

Ha az előző feltételek mellett a központ működőképességét úgy definiáljuk, hogy 1 berendezés működése mellett már működőképesnek tekintjük, akkor a megbízhatósága a következő képpen alakul:

$$R_{kp} = 1 - P_{BerHiba}^{m+n}$$

Ha a központ részleges működését is elfogadhatónak tartjuk, azaz figyelembe vesszük, hogy a központ degradálódhat is bizonyos  $(n - k)/n \cdot 100\%$ -ban, — azaz  $n$  berendezésből, még a védelem segítségével is csak  $k$  tudja a feladatát ellátni — akkor a megfelelő százaléku megbízhatóság számítása:

$$R_{kp}^{k/n} = 1 - \sum_{i=m+n-k}^{n+m} \binom{n+m}{i} \cdot p^i \cdot (1-p)^{n+m-i}$$

A fentiekben az  $n : m$  osztott védelemmel ellátott központok megbízhatóságát tekintette át a tanulmány. A védelem alapja, hogy a berendezés meghibásodások csak akkor kezdik éreztetni hatásukat, ha a védelmi berendezések számánál több berendezés válik használhatatlanná.

### Passzív védelem

A központok passzív védelme azt jelenti, hogy a központot meghibásodás esetén le- ill. kikapcsolják a hálózathoz. Az átviteli vonalakon elhelyezett passzív kapcsolók segítségével a kiesett központot a hálózathoz kicsatolhatja a menedzser a központon keresztül továbbított igények védelmére. A központból induló és oda érkező igények elvesznek.

Tehát ez a típusú védelem gyakorlatilag nem a központot védi hanem a hálózatot, a központ hibájának — a központon keresztül továbbított igényekre gyakorolt — hatásától. Emiatt a megbízhatósági leírást is a vizsgált igények szerint lehet megadni.

A központból induló és ott végződő igényekre nézve a központ megbízhatósága a benne üzemeltetett berendezés(ek) megbízhatóságával jellemezhető. Amíg ez(ek) megfelelően működnek, addig a központ is megfelelően működik, míg ezek hibája esetén a központ is meghibásodik. Részletesebben:

1. Ha

- egy központban egy berendezés található
- ennek meghibásodási valószínűsége  $P_{BerHiba}$
- a berendezés és a központ hiba állapottere két elemű

akkor a központ megbízhatósága ( $R_{kp}$ ) a következő:

$$R_{kp} = 1 - P_{BerHiba}$$

2. Ha

- egy központban  $n$  berendezés található
- egy berendezés meghibásodási valószínűsége  $P_{BerHiba}$
- a berendezések hiba állapottere két elemű
- a központ állapottere  $2^n$  elemű
- és a központ akkor működőképes ha minden berendezése működőképes

akkor a központ megbízhatósága ( $R_{kp}$ ) a következő:

$$R_{kp} = (1 - P_{BerHiba})^n$$

3. Ha

- egy központban  $n$  berendezés található
- egy berendezés meghibásodási valószínűsége  $P_{BerHiba}$
- a berendezések hiba állapottere két elemű
- a központ állapottere  $n$ -ed rendű
- és a központ  $(m/n) \cdot 100\%$ -ban működőképes, ha  $m$  berendezése működőképes,

akkor a központ  $(m/n) \cdot 100\%$ -os megbízhatóságának számítása a következő:

$$R_{kp}^{m/n} = \binom{n}{m} \cdot P_{BerHiba}^{n-m} \cdot (1 - P_{BerHiba})^m$$

Az átmenő igényekre a központ megbízhatósága  $R_{kp}^*$  a következő:

$$R_{kp}^* = (1 - P_{KapcsHiba}) \cdot R_{kp}$$

Ahol

1.  $P_{KapcsHiba}$  a védelmi kapcsolók meghibásodási valószínűsége. Ha részletesbben ismert a védelem megvalósítási szerkezete, akkor  $P_{KapcsHiba} = 1 - (1 - P_{EgyKapcsHiba})^k$ , ahol  $k$  az alkalmazott kapcsolók száma, mindegyik jó működése esetén tekintem jónak az egész kapcsolót.
2.  $R_{kp}$  az előzőekben számolt valamelyik központ megbízhatóság értelem szerinti behelyettesítése.

Tehát a passzív védellemmel ellátott központok megbízhatósága a központból induló és a központba érkező igényekre nézve megegyezik a nem védett központ megbízhatóságával. Az átmenő igényekre pedig a központ megfelelő működése, vagy hiba esetén a kapcsolók megfelelő működési valószínűsége adja meg a központ megbízhatóságát.

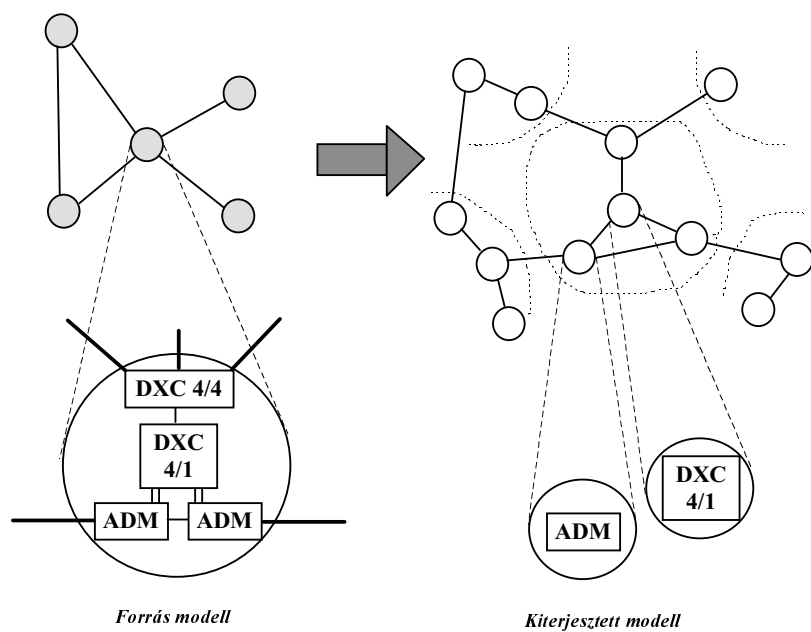
A fejezetben a védett központok megbízhatósági számítását elemeztük. A valós élethez a degradációt figyelembe véve és kezelve lehetne pontosabb a feladatok megoldása. Valószínűbb modell lenne a berendezés meghibásodásokat is többállapotú hibatérrel kezelő modell, de ennek leírása és számítása a jelen hálózat méretek mellett kezelhetetlen méretű problémákhoz vezet.

Egy jó leíró erővel rendelkező modellnek figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a valós központokban általában több berendezés található. Ezek egyszerre történő kezelése viszonylag bonyolult matematikai leírást igényel. De mindez kiküszöbölhető a modell ötletes átalakításával. Az alapesetet leíró modellünket kiindulásnak használva, létrehozható egy olyan új kiterjesztett modell, melyben a központok egyes elemei már külön csomópontokba kerülnek, azaz az új model egyes központjai, a forrás modell berendezésszintű leírásának elemei lesznek. Ezek kapcsolatát is a forrásmodellből származó ismeretek segítségével adhatjuk meg figyelembevétel az összetett központon belüli adattovábbítás útját, és hogy a központ mely eleme mely másik központtal volt összekötésben. Erre a központ bontásra mutat példát a 6.1. ábra. Ezzel a módszerrel a meglévő modell a méretnövekedés mellett egyszerűsíthető. Ez a változás a számítás elemi műveletekre való egyszerűsítését jelenti, de természetesen ezekből az elemi műveletekből ekkor többet kell majd elvégezni. Az előnyt az határozza meg, hogy az elemi és az összetett műveletek számításigénye milyen arányban áll egymással.

A 6.1. ábrán jól látszik, ahogy az új kiterjesztett (gráf)modellben a csomópontok az eredeti modell központjainak berendezéseiből kerülnek ki. A központok szerkezete eltérő lehet, így különböző forrásközpontok eltérő számú új központot fognak létrehozni a kiterjesztett modellben. Az ábrán egy viszonylag összetettebb HUB központ van részletesen kiemelve, mely a hierarchikus hálózatokban a szint átlépést biztosítja.

A modell még egy lépéssel kiterjeszthető, ha a berendezéseket és alkotóelemeiket tekintjük az előzőekhez hasonlóan forrásnak és célnak. Bár erre már nincs az előző mértékben szükség, mert az alapvető megbízhatósági vizsgálatok-





6.1. ábra : Központfelbontás a kiterjesztett modell alkotása során

hoz a gyártók által a berendezésekről szolgáltatott adatokat fel lehet használni az "egy berendezés — egy központ" szinten.



## 7. fejezet

# Hálózatjellemezők közelítő számítási módszere

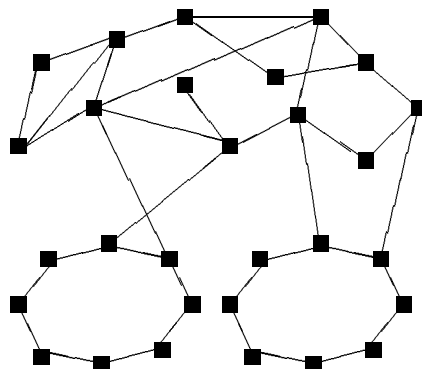
Ebben a fejezetben a hálózatmegbízhatósági elemzés egy központi problémájával, az irreálisan nagy megbízhatósági állapottérrel és a kezelésére alkalmas számítási módszer ismertetésével és elemzésével foglalkozunk.

### 7.1. Az alkalmazott megbízhatósági modell

A megbízhatósági vizsgálat során az először megoldandó feladat a hálózat modelljének felépítése. A hálózat modellezésére jól használhatók a gráfok. A modellgráf felépítése történhet a következő módon: a gráf pontjai a hálózatban található csomópontoknak ( hubok, DXC-k, ADM-ek ...), élei pedig a hálózat csomópontjai közti összeköttetéseknek felelnek meg (két hubot összekötő optikai kábel). Egy ilyen gráfot láthatunk a 1. ábrán, a hálózat hierarchikusan épül fel: az alsó szinten két gyűrű van, amelyek 2-2 összeköttetésen keresztül kapcsolódnak a felső szint szövevényes hálózához.

A hálózat elemei a modell szempontjából kétállapotúak: egy adott elem vagy teljesen jól működik, vagy sehogy. A gráf minden eleméhez tartozik egy érték, amely megadja, hogy az adott elem milyen valószínűséggel jó.

A vizsgált hálózat esetében a gráf elemeinek száma kb. 200, az igényelt összeköttetések száma kb. 600, és egy igény két végpontja közötti összeköttetés átlagosan 10 elemen halad keresztül. Egy adott igényt a következőképp írhatunk le: az alkalmazott védelmi mód, kapacitás, az útvonal(ak) során érintett elemek listája. Egy elem kiesése annyi igényt érint, ahánynak az útvonallistájában szerepel. Természetesen többféle módon érinthet egy kiesés valamely igényt a védelmi módtól függően.



7.1. ábra : A hálózat grfmodellje

A megbízhatósági analízis során kiszámítandó jellemzők lehetnek például a következők: *egyed igények szempontjából*: két egymással kommunikálni kívánó igényforrás között milyen valószínűséggel áll rendelkezésre a szükséges kapacitású összeköttetés, vagy annak bizonyos hányada; a *hálózat egészének szempontjából*: az igények összeségét tekintve, az összkapacitás hány százaléka milyen valószínűséggel áll rendelkezésre.

A megbízhatósági jellemzők pontos kiszámítása nagy hálózatok esetén nem lehetséges. A hibás állapotok száma hatalmas lehet.  $N$  elem esetén az egyszeres hibák (azok a hibaállapotok, amelyekben egy elem rossz és az összes többi jó) száma  $\binom{N}{1}$ , a kétszeres hibák száma  $\binom{N}{2}$ , az összes hibás állapot száma  $\binom{N}{1} + \binom{N}{2} + \dots + \binom{N}{N}$ . Az összeadás eredménye  $2^N$ , ha  $N = 100$  ez több mint  $10^{30}$ . És a hibás állapotok hálózatra gyakorolt hatását külön-külön kell megvizsgálni, hiszen különböző hibás állapotok nem ugyanazokat az igényeket érintik, nem ugyanolyan mértékben. Például azon két összeköttetés kiesése, mely egy a hálózat alsó szintjén lévő gyűrűt a hálózat felső szintjéhez kapcsol, minden olyan igény kiesését eredményezi, amelynek egyik végpontja a gyűrűben másik végpontja a hálózat más részén helyezkedik el; ezzel szemben, ha a felső szint szövevényes struktúrájú, és ennek esik ki két eleme, lehetséges, hogy az összes igény kielégíthető marad a kiesett éleket elkerülő utakon vezetve (7.1. ábra). Ha feltesszük, hogy egy hibás állapot vizsgálata csak 0.001 másodpercig tart, akkor a  $10^{30}$  vizsgálat elvégzése több mint  $3 * 10^{19}$  évig tartana.

Tehát ki kell válogatni az összes hibás állapot közül azokat, melyeknek hálózatra gyakorolt hatását vizsgálni fogjuk. Bizonyos hibás állapotok elhanyagol-

lását azért tehetjük meg mert előfordulásuk valószínűsége nagyon kicsi; például egy 100 elemű rendszer esetén, ahol minden elem meghibásodási valószínűsége  $10^{-3}$ , 2 elem együttes meghibásodásának valószínűsége kb.  $10^{-6}$ , míg 10 elemé csak kb.  $10^{-15}$ . Azon elemek kiválasztását, amelyek hatását vizsgálni fogjuk többféle szempont figyelembevételével kell végezni: a kimaradó hibás állapotok valószínűségeinek összege egy előre definiált határ alatt maradjon ( pl. az eseménytér kimaradó részének valószínűsége 0.001 vagy 0.0001 alatt legyen, ez az érték adja meg, hogy a számítás mennyire pontos); a vizsgált állapotok száma akkora legyen, hogy a megbízhatósági jellemzők számítására használt algoritmus ésszerű időben végrehajtható legyen. Tehát a feladat minél kevesebb hibás esettel, minél nagyobb valószínűségű szeletet lefedni az eseménytérből. A következő részben azt az esetet vizsgáljuk, amikor a hálózat minden eleme azonos meghibásodási tényezővel rendelkezik.

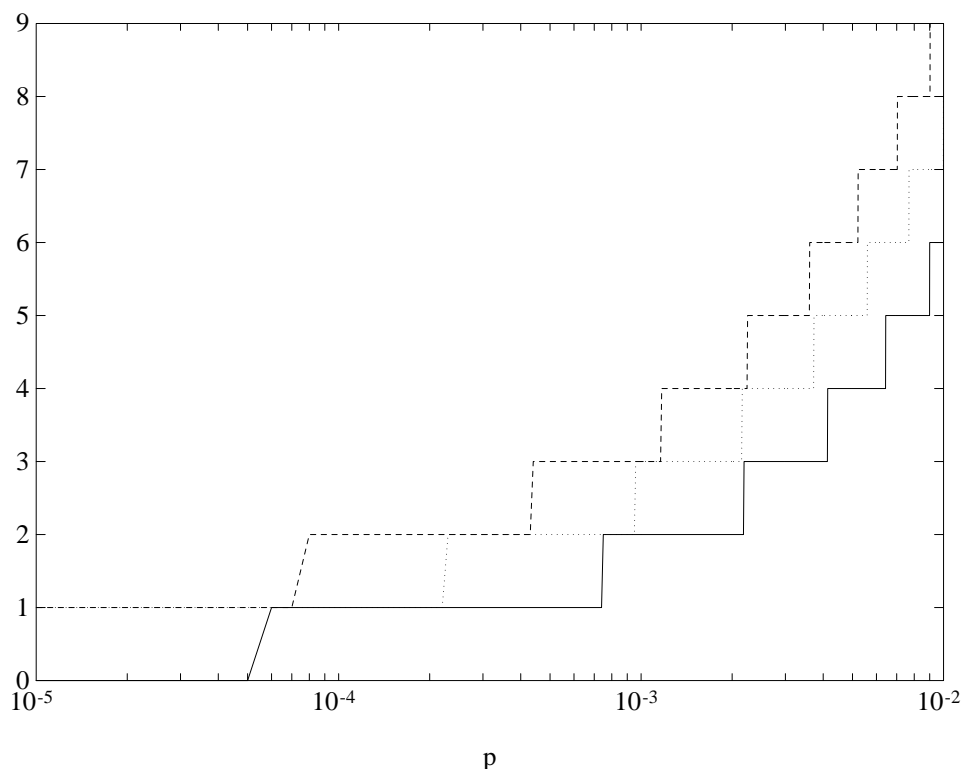
## 7.2. Azonos meghibásodási tényezőjű elemek

Ebben az esetben az összes elem ugyanazzal a meghibásodási tényezővel írható le. A hibás elemek számának eloszlását az  $(n, p)$  paraméterű binomiális eloszlás adja meg, ahol  $n$  az elemek száma és  $p$  a közös meghibásodási tényező.

A 7.2. ábra a meghibásodási valószínűség függvényében mutatja meg, hogy milyen hibamélységig (hibamélység: hány elem hibás; pl, az ha a 3-as hibamélységig vesszük figyelembe a hibás eseteket, azt jelenti, hogy az összes egyes, kettes, hármass hibák kerülnek a hibamodellbe) kell a hibás eseteket figyelembe venni ahhoz, hogy az eseménytér kimaradó részének összesített valószínűsége 0.01 , 0.001, 0.0001 legyen, ha az elemek száma 200. Ha kiválasztunk a vízszintes tengelyen egy meghibásodási valószínűség értéket, a görbéken leolvashatjuk, hogy milyen mélységig kell a hibás eseteket figyelembe venni egy bizonyos lefedettséghez. Természetesen az alsó görbe tartozik a 99%-os lefedettséghez ( a kimaradó hibás állapotok összesített valószínűsége 0.01), hiszen ekkor kell a legkevesebb hibás eset hatását vizsgálni.

## 7.3. Különböző meghibásodási tényezőjű elemek

Ebben az esetben minden elemhez más-más meghibásodási tényező tartozhat. Ez természetesen a hálózat pontosabb modellezését teszi lehetővé, hiszen két



7.2. ábra : A hibamélység és az elem megbízhatóság kapcsolata

elem (pl. egy hibatűrő hub és egy optikai kábel) egymástól jóval eltérő megbízhatósági viselkedést mutathat. Ebben az esetben a hibamodell optimális felépítése már nehezebb feladat.

### 7.3.1. Hibamodell elemeinek kiválasztása

Ilyen esetben nem biztos, hogy egy bizonyos hibamélységig az összes hibás állapotot érdemes figyelembe venni, többféle hibamélység bizonyos, de nem minden elemének figyelembevétele hatásosabb lehet (kevesebb elemmel az eseménytér nagyobb része fedhető le). Tehát például figyelembe veszünk bizonyos hármas hibákat, de nem az összes kettes hibát. Ez azért eredményezheti az eseménytér nagyobb lefedettségét, mert előfordulhat, hogy három nagy meghibásodási tényezőjű elem együttes kiesése nagyobb valószínűségű, mint két nagy megbízhatóságú elem együttes hibája. Például, ha egy százalékos rendszerben van három olyan elem, amelyek meghibásodási tényezője  $10^{-2}$  és két olyan, amelynek  $10^{-4}$ , akkor az először említett három együttes meghibásodásának valószínűsége kb.  $10^{-6}$ , míg a másik kettőnél ez a szám csak  $10^{-4}$ .

Ez az eljárás természetesen nem alkalmazható, ha feltételezzük, hogy a meghibásodási tényezők egyformák, hiszen ebben az esetben  $x$  elem együttes kiesése biztosan nagyobb valószínűségű mint  $x + 1$  elemé.

A következő példa bemutatja, hogy mennyit nyerhetünk, ezzel a módszerrel. Legyenek a hálózat paraméterei a következők : az elemek száma 210, az elemek megbízhatósági szempontból 3 csoportba oszthatók: minden csoportban 70 elem van és az egyes csoportok meghibásodási tényezője 0.01, 0.0001 és 0.00001. A következő táblázat azt mutatja, hogy az eseménytér mekkora részét fedjük le, ha az összes kétszeres hibát figyelembe vesszük, illetve hány hibás elemmel fedhető le az eseménytér ugyanilyen mértékben, ha a kétszeres hibák közül csak azokat vesszük figyelembe, amikor mindkét hiba az első csoportban van, és az olyan hármas hibáknak egy részét, amikor minden hiba az első csoportban van.

Módszer	Eseménytér vsz.	Esetek száma
Minden kétszeres hiba	9.6536	22155
Eltérő hibamélység	9.6538	7940

Ha optimálisan akarjuk bővíteni a hibamodelt, a még figyelembe nem vett hibás állapotok közül azt kell következő lépésben választanunk, amely a lefedett eseményteret a legnagyobb mértékben növeli, azaz meg kell állapítani, hogy melyik eddig fel nem vett hibás állapotnak a legnagyobb a valószínűsége. Azt, hogy egy hibás állapot milyen valószínűséggel fordul elő a következő szorzat adja meg :

$$\prod_{i \in \text{hibás}} p_i \prod_{j \in \text{jó}} (1 - p_j),$$

ahol  $p_i$  jelöli az  $i$ . elem meghibásodási tényezőjét. Ezt a szorzatot kell összehasonlítani az összes a hibamodellbe fel nem vett hibás esetre. Egy ilyen szorzat kiértékelése annyi szorzást igényel ahány elem van a hálózatban, és rengeteg ilyen kell összehasonlítani ( $N$  elem esetén :  $\binom{N}{1} + \binom{N}{2} + \dots + \binom{N}{N} = 2^N$ ). De amikor döntenünk kell, hogy a következő lépésben, mely hibás állapotot emeljük be a hibamodellbe, valójában csak kevés ilyen összehasonlításra van szükség. Például, tegyük fel, hogy az eddig felvett elemek a következők (az elemek megbízhatósági szempontból sorrendbe vannak állítva, az 1. elem a legkevésbé megbízható): egyszeres hibák közül: 1., 2., 3. elem hibája; kétszeres

hibák közül: 1. és 2., 1. és 3. elemek együttes hibája. Ekkor csak a következő eseteket kell összehasonlítani: 4. elem hibája, 2. és 3. együttes hibája, a többi hibás állapot valószínűsége biztosan kisebb, mint ezeké. Továbbá két ilyen szorzat összehasonlításához nem kell a szorzat értékét kiszámítani, hiszen a szorzatok nagy része megegyezik. Például, két olyan eset figyelembevételkor melyben 10-10 hibás elem van és ezek mindegyike különböző (ez a legkedvezőtlenebb eset) az összehasonlítás csak 20-20 szorzást igényel, a szorzat többi része megegyezik.

A következő szakaszban olvasható az általános algoritmus.

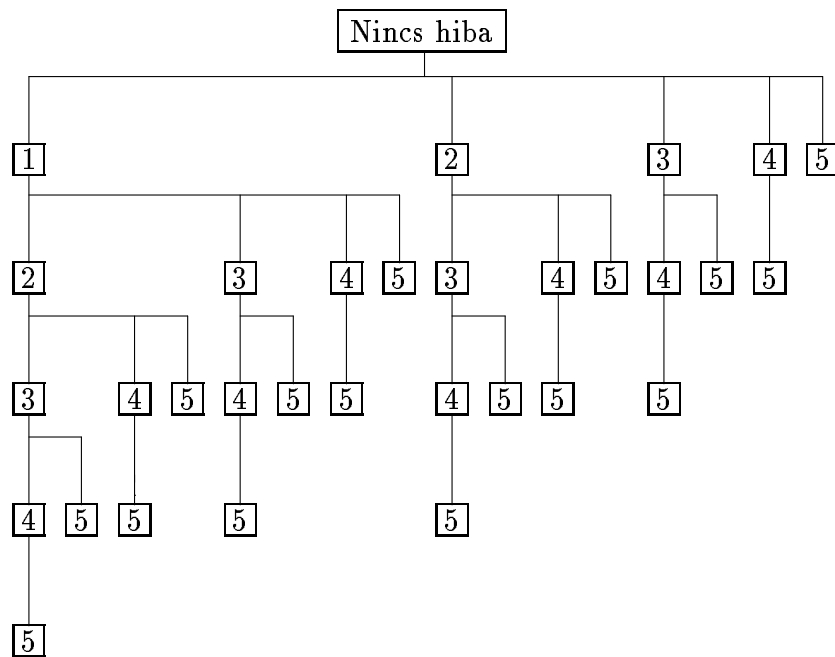
### 7.3.2. Algoritmus hibaállapotok kiválasztására

A 7.3. ábrán egy öt állapotú rendszer összes állapotát reprezentáló fa látható. A fa gyökere a hibátlan állapotnak, a többi doboz a hálózat egy-egy hibás állapotának felel meg. Az elemek meghibásodási valószínűségeire a következő viszony áll fenn :  $p_1 \geq p_2 \geq p_3 \geq p_4 \geq p_5$ . Egy adott doboz annak a hibás állapotnak felel meg, amikor a hibás elemek a következők : a dobozba írt elem, valamint a doboztól a gyökérig vezető úton a dobozokba írt elemek hibásak. Például az ábra alulról 2. sorának balról 3. doboza azt az állapotot jelenti, amelyben az 5., 4., 2. és 1. elemek hibásak.

A fában a következő tulajdonságok érvényesek :

- Egy adott csomóponthoz tartozó hibás állapot valószínűsége biztosan nagyobb, mint az ebből a pontból lefelé elérhető többi csomópont valószínűsége. Ez abból adódik, hogy annak valószínűsége, hogy egy adott elem rossz kisebb, mint annak a valószínűsége, hogy jó. Tehát, ha egy adott hibaállapothoz még több hibás elemet veszünk hozzá, a keletkező hibaállapot valószínűsége kisebb lesz mint azé amiből kiindultunk.
- Egy adott csomópont fiai (a belőle lefelé indulva elérhető, egy szinttel lejjebb lévő elemek) közül a legnagyobb valószínűségű a bal szélső csomópont, és a csomópontok valószínűsége balról jobbra csökken. Ez abból következik, hogy ezeket az állapotokat egyetlen hibás elem különbözteti meg egymástól, és éppen ezen elem megbízhatósága szerint vannak rendezve balról jobbra csökkenő sorrendben.
- Tekintsünk egy unokacsoport (azon elemek csoportja, melyeknek közös a nagyszülőjük) i. testvércsoportjának (azon elemek csoportja, melyek-





7.3. ábra : Hibaállapotok faszerkezete

nek közös az apjuk) balról  $j$ . elemét. Ezen elem valószínűsége és az ezen unokacsoporton belüli többi testvércsoport bizonyos elemei között a következő összefüggés igaz:

i. testvércsoport  $j$ . eleme  $\geq$

( $i+1$ ). testvércsoport ( $j-1$ ). eleme  $\geq$

( $i+2$ ). testvércsoport ( $j-2$ ). eleme  $\geq$

( $i+3$ ). testvércsoport ( $j-3$ ). eleme  $\geq$

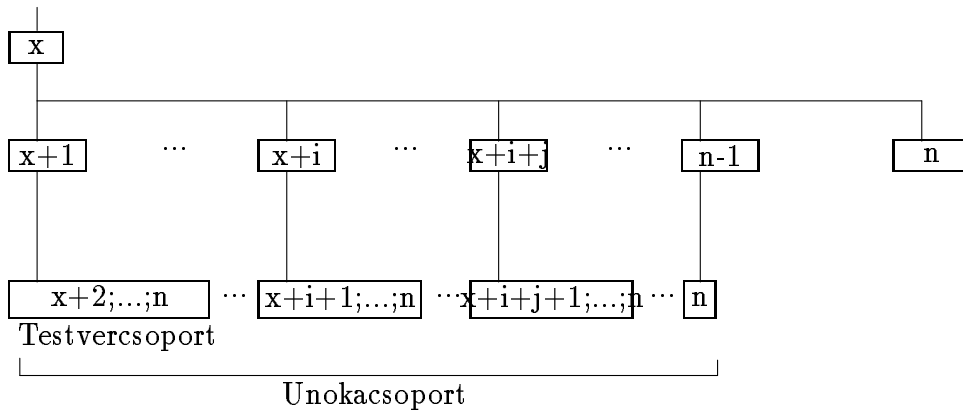
...  $\geq$

...  $\geq$

( $i+j-1$ ). testvércsoport 1. eleme  $\geq$

az előzőtől jobbra lévő testvércsoportok minden eleme.

A 7.4. ábra alapján látható, hogy ez miért igaz. Az ábrán egy testvércsoportnak egy hosszabb téglalap felel meg. Az  $i$ . testvércsoport  $j$ . eleme az ( $i+k$ ). csoportban a ( $j-k$ ). helyen jelenik meg, eközött a két hibás állapot



7.4. ábra : Testvér és unoka csoportok

között az egyetlen különbséget az apák különbsége jelenti. Az apák közül pedig az  $i$ . testvércsoport apja a kevésbé megbízható. Például azon hibás állapot valószínűsége, melyben a hibásak az 1., 2., 3., és 6. elemek biztosan nagyobb a következő két hibás állapot valószínűségénél: 1., 2., 4., 6. elemek hibásak; 1., 2., 5., 6. elemek hibásak.

- Tekintsünk egy olyan hibás állapotot, amelyben a hibás elemek a megbízhatósági sorrend szerint egymás után helyezkednek el. Az ugyanebben a sorban ettől jobbra lévő hibás állapotok valószínűsége kisebb mint ezé az állapoté. Ez abból következik, hogy a fa minden sorában az állapothoz vezető úttól jobbra csak olyan elemek szerepelnek, amelyeknek megbízhatósága nagyobb mint az adott sorban a hibás állapothoz tartozó elem megbízhatósága.

A feladat a hibamodellbe még fel nem vett elemek közül a legnagyobb valószínűségű megtalálása. A következő algoritmus a hibafa fent leírt tulajdonságainak kihasználásával teljesíti ezt a feladatot: a következő elem hibamodellbe való felvétele előtt egy listát állítunk össze, amely azokat a hibás állapotokat tartalmazza, amelyeknek a fában való helyük alapján nem meghatározható a nagyság szerinti sorrendjük. Ezek közül kell kiválasztanunk a legkisebbet és felvenni a hibamodellbe. A következő körben a listát nem töröljük, hanem a megváltozott helyzetnek megfelelően bővítjük. Egy adott helyzetben a listában a következő elemeknek kell szerepelniük:

- Az egyszeres hibák közül a bal szélső szabad ( még fel nem vett) elem.

Az egyszeres hibák közül egyértelműen ez a legnagyobb valószínűségű.

- A hibafa minden további megkezdett sorában a következőképp járhatunk el: az első nem teljesen felvett unokacsoport bal szélső szabad elemének helye alapján megkeressük, hogy az ő unokacsoportjában mely elemek lehetnek nagyobbak nála, ezeket felvesszük a listába. Ugyanígy járunk el a következő unokacsoportokban addig, míg valamelyikben az első szabad hibás állapot olyan elemeket tartalmaz, amelyek egymás utás helyezkednek el megbízhatósági szempontból. Ezt az elemet felvesszük a listába. Több elemet ebből a sorból nem kell felvenni a listába, hiszen az összes ettől jobbra lévő kisebb valószínűségű.
- A hibafa első meg nem kezdett sorából a bal szélső elem.

Formálisan:

```
while ( az eseménytér nem kellő lefedettségű)
  if ( nincs a hibamodellben minden egyszeres hiba)
    - a bal szélső szabad egyszeres hiba a listába kerül,
    ha nincs benne;
  endif ;
for ( a hibafa minden megkezdett sorára )
  - tovább=TRUE;
  while ( tovább )
    - a következő unokacsoport első fel nem vett elemének
    keresése : x;
    if ( x egymás melletti hibás elemeket tartalmaz)
      - x felvétele a listába;
      - tovább = FALSE;
    else
      - k = ahányadik testvércsoportban x van az
      unokacsoporton belül;
      - következő k-2 testvércsoport első szabad elemének
      a listába való felvétele, ha nincs benne;
    endif ;
  endwhile ;
endfor ;
- a listán szereplők legkisebbikének felvétele a modellbe,
```

törlése a listáról  
 endwhile ;

### 7.3.3. Az algoritmus számítási igénye

Tekintsük azt az esetet, amikor az algoritmus számítási igényének szempontjából legkedvezőtlenebb a hibás esetek felvételének sorrendje egy adott sorban. Ez az az eset, ha a sorban kiválasztjuk az első unokacsoport első testvércsoportjának minden elemét, kivéve az utolsót, majd átlépünk a következő unokacsoportra és ugyanezt tesszük ebben is, és így tovább a következőkben. Így elérhető, hogy az összehasonlítandó elemek között a sor minden testvércsoportjának szerepel egy eleme. Az  $i$ . sorban lévő testvércsoportok száma megegyezik az  $i-1$ . sorban lévő elemek számával, azaz az  $i$ . sorban  $\binom{N}{i-1}$  testvércsoport van, ha a rendszer elemeinek száma  $N$ .

Tehát, egy adott sorban a legrosszabb helyzet az lehet, hogy minden testvércsoportból egy elem szerepel a listában. A következő kérdés az, hogy hány megkezdett sor lehet egyszerre a fában. Ez attól függ, hogy a rendszer legjobban és legkevésbé megbízható eleme milyen távolságra van egymástól, és attól, hogy hány sort vettünk fel teljesen a fából. Például, tegyük fel, hogy a legmegbízhatóbb elemhez tartozó valószínűség  $10^{-6}$ , a legrosszabb elemhez tartozó  $10^{-3}$ , és a legelső megkezdett, de nem teljesen felvett sor az  $i$ . Ekkor a  $2i$ . sor első elemének valószínűsége kb.  $10^{-3 \cdot 2^i}$ , az  $i$ . sor utolsó elemének valószínűsége kb.  $10^{-6^i}$ , tehát elképzelhető, hogy az  $i$ . és a  $2i$ . sor között minden sor tartalmaz olyan elemet, amelyet már beválasztottunk a hibamodellbe. Az, hogy hány megkezdett sor lesz az algoritmus befejezésekor megbecsülhető a 2. ábra segítségével.

Az algoritmus futási idejét jelentősen csökkentheti, ha az elemek között vannak azonos megbízhatósági tényezőjűek. Ebben az esetben a hibafa soraiban az egymás mellett álló elemek egyformák lehetnek, és ezeket a hibás eseteket egyszerre vehetjük fel a hibamodellbe. Például, ha a 3. ábrán látható hibafáról tudjuk, hogy a 1. és 2., valamint a 3. és 4. elemek valószínűsége páronként egyforma, akkor a második sor 2. és 3. elemét egy lépésben választhatjuk ki, mert ezek egyforma valószínűségű elemek. Ezen tulajdonság kihasználása a számítási igényt jelentősen csökkentheti, mert így egy sorból csak kevesebb elem összehasonlítását kell elvégezni. Például, ha adott egy százalékos rendszer, amelyben az elemek megbízhatósági paraméterei nem egyformák, az  $i$ -szeres

hibák valószínűségei  $\binom{N}{i}$  különböző értéket adhatnak. Ha a rendszer elemei 10 csoportba vannak osztva, melyekben 10-10 elem van, az  $i$ -szeres hibák  $10^i$  különböző értéket adhatnak.  $i = 5$  esetén az első érték  $7.5 * 10^7$ , míg a második  $10^5$ .



## 8. fejezet

# Hálózatmegbízhatóság számítás PLANET környezetben

A korábbi fejezetekben részletesen tárgyaltuk a hálózatmegbízhatósági elemzésekhez szükséges szakmai háttérrel, és áttekintettük azokat az elvi lehetőségeket és korlátokat is, amelyekkel a távközlő hálózatok megbízhatóságát a gyakorlatban jellemezhetjük. Ebben a fejezetben azokat a konkrét megoldásokat ismertetjük, amelyeket a PLANET tervezőrendszerhez kapcsolódóan alakítottunk ki, és amelyek segítségével így módon a PLANET tervezőrendszerrel létrehozott SDH hálózati tervek alapján a hálózatok megbízhatósági jellemzőit előállíthatjuk.

A programok kifejlesztése során törekedtünk számos gyakorlati szempont kielégítésére, amelyeket mindvégig szem előtt tartottunk. Ebben a fejezetben először áttekintjük a PLANET tervezési eredményekre alapozott megbízhatósági számítások fő szempontjait és jellemzőit, majd ismertetjük a kialakított megoldás legfontosabb lépéseit.

A fejezet második részében azokat a kérdéseket tárgyaljuk, amelyekre a fejlesztés ezen szakaszában létrehozott szoftver nem ad választ, végül röviden összefoglaljuk a továbblépés általunk legfontosabb tekintett irányait is.

### 8.1. A megbízhatósági elemző szoftver kialakításának szempontjai

A megbízhatósági elemző szoftver kialakítását számos szempont befolyásolta. A fontosabb szempontok a következők voltak:

- alkalmazási tapasztalatok hiánya,

- a PLANET tervezőrendszer tapasztalatai,
- a tervezett hálózatok jellemzői,
- a szoftver hordozhatósága,
- a szoftver továbbfejleszhetősége.

A továbbiakban röviden áttekintjük az egyes szempontok fő jellemzőit, valamint azoknak a szoftver kialakítására gyakorolt hatását.

### 8.1.1. Alkalmazási tapasztalatok hiánya

Ahogy a korábbi elméleti fejezetekben már tárgyaltuk egy távközlő hálózat megbízhatósági analízise nagyon sok szinten, sokféle célkitűzéssel végezhető el. Az elemzési megoldás kialakítása során nagyon kritikus, hogy egy reális méretű hálózatban nagyon sokféle hibaesemény lehetséges, és az egyes állapotokban a bekövetkezett meghibásodásoknak a rendszer minőségére gyakorolt hatása is rendkívül különböző.

Bár az elmúlt években különböző számítástechnikai és folyamatirányítási rendszerek megbízhatósági elemzése során jelentős tapasztalatokat szereztünk, az azokban vizsgált néhány száz állapotú rendszerek nem szolgáltattak a konkrét hálózatmegbízhatósági vizsgálatokhoz elegendő előzményt. Ugyanakkor tudomásunk szerint reális méretű hálózatok megbízhatósági analízise terén - a jelenleg elérhető számítástechnikai háttér mellett - Magyarországon egyáltalán nincsenek tapasztalatok, de még a publikált nemzetközi eredmények is meglehetősen korlátozottnak tekinthetők.

Figyelembe véve a gyakorlati hálózatmegbízhatósági tapasztalatok hiányát jelen fejlesztési szakaszban egyértelmű célnak tekintettük egy olyan szoftver létrehozását, amely módot ad a lehetőségek felmérésére. Törekedtünk ezért arra, hogy a PLANET segítségével létrehozott valóságos - jelenleg épülő - SDH hálózatok analízisére közvetlenül mód nyíljon, és ezáltal a továbblépés irányai a valóságos hálózatok elemzése alapján legyenek megfogalmazhatók.

### 8.1.2. A PLANET tervezőrendszer tapasztalatai

A fejlesztések részletes definiálása során hasznosítani kívántuk az eddigi PLANET fejlesztések azon tapasztalatát is, hogy egy-egy tervezési-analízis folyamat a valóságban mindig csak több iterációs lépés után tisztázódik. Ezért nem arra



törekedtünk, hogy már az első lépésben is egy felhasználóbarát eszköz jöjjön létre, hanem sokkal inkább egy olyan megoldást kívántunk kialakítani, amely egyszerre teszi lehetővé többféle megbízhatósági értékelés, különböző mélységű elvégzését, és ezzel egyaránt szolgáltat tapasztalatokat

- a megbízhatósági modellek,
- a hálózatminősítési módszerek,
- a számítási eljárások és azok időigénye, valamint
- az előállított eredmények megjelenési formája

területén.

### **8.1.3. A tervezett hálózatok jellemzői**

A megbízhatósági analízist végző szoftver kialakítása során arra is törekedtünk, hogy az rövid távon is alkalmas legyen a PKI-FI-ben tervezett SDH hálózatok vizsgálatára. Ennek a célnak megfelelően az eszközt alkalmassá kívántuk tenni arra, hogy a tervezett 50-100 csomópontot tartalmazó hálózatok elemzését képes legyen támogatni, és mód legyen arra, hogy a számítási pontosság csökkentésével bármilyen reális méretű hálózat elemezhető legyen.

Figyelembe véve a tervezett hálózatok kétszintű, alul gyűrű, felül szövevényes alstruktúrájú megoldását, követelménynek tekintettük ezen többsíkú architektúra kezelését, és ugyancsak célunk volt a PKI-FI által tervezett jelenlegi hálózatokban alkalmazott védelmi megoldások elemzési lehetőségének biztosítása is.

### **8.1.4. A szoftver hordozhatósága**

A PLANET tervezőrendszer eddigi alkalmazásai során fontos tapasztalatunk volt a DOS-os operációs rendszer sokszor meglehetősen nehezen kezelhető méretkorlátja, ezért olyan szoftvert kívántunk kialakítani, amely alkalmas többféle hardver és operációs rendszeren is a feladatok elvégzésére. A célkitűzés kielégítése érdekében a szoftver

- csak minimális mértékben épül össze a PLANET rendszerrel,
- szabványos C-nyelven készült,

- input illetve belső felületeit egyszerű ASCII fájlok képezik,
- eredményei pedig olyan formában jelennek meg, hogy azokat szabványos táblázatkezelők (pl. EXCEL) egyszerűen képesek legyenek feldolgozni.

### 8.1.5. A szoftver továbbfejleszhetősége

Ugyancsak törekedtünk arra is, hogy a szoftver egyszerűen továbbfejleszhető legyen. Ennek érdekében a definiált belső felületek már több ponton is lehetővé teszik a jelenleginél általánosabb megbízhatósági minősítések alkalmazását, akár a hálózatelemek részletesebb modelljét, akár pedig a további hálózatvédelmi megoldásokat tekintve.

## 8.2. A kialakított megoldás fő jellemzői

A kialakított megoldás fő jellemzőit négy szempontból tárgyaljuk, amelyek a következők:

- a hálózatelemek megbízhatósági modellje,
- a hálózatelemek kapcsolata,
- a vizsgálható védelmi megoldások,
- az előállított megbízhatósági jellemzők.

### 8.2.1. A hálózatelemek megbízhatósági modellje

A hálózat megbízhatósági jellemzéséhez a korábbiaknak megfelelően egy gráfmodellt alkalmaztunk. A gráf kétféle elemet tartalmaz; csomópontokat és éleket. A megbízhatósági modellezéshez valamennyi hálózatelemet kétféle jellemzővel látjuk el. Minden elemnek lehet olyan meghibásodása, amelynek hatására az adott elem áthaladó valamennyi átviteli út működésképtelenné válik, és valamennyi hálózatelemnek létezhetnek olyan meghibásodásai is, amelynek hatására csak egyetlen hálózati alstruktúra, adott elem áthaladó átviteli útjai hibásodnak meg.

Az egyes hálózatelemek megbízhatósága meghibásodási rátájukkal és várható javítási idejükkel kerül jellemzésre, és a számítások során a kiesési időarányok (DTR) ezek alapján kerülnek meghatározásra.

Nyilvánvaló, hogy ez a modell nem írja le tökéletesen a rendszer viselkedését, látni kell azonban, hogy egy-egy hálózatelemnek így is  $2^n$  lehetséges állapota van, ahol  $n$  az adott hálózatelemen áthaladó alstruktúrák száma, míg a hálózat összes állapotának száma ezen hálózatelem állapotok számának szorzataként állítható elő.

### 8.2.2. A hálózatelemek kapcsolata

A kialakított modellben feltettük, hogy az egyes hálózatelemek egymástól függetlenül hibásodnak meg, és a meghibásodott elemeket egymástól függetlenül javítják. Az elemeken belül a függőséget a hálózatelem teljes meghibásodása jelenti, további modellezési lehetőségeket nem hoztunk létre.

Ez a modell első közelítésben elegendő finomságúnak látszik. A meghibásodások és javítások függősége ugyanis csak az egymáshoz közeli hálózatelemek esetén látszik jelentősnek, ennek valószínűsége azonban eléggé kicsinek tűnik, a közös hibák értelmezése pedig módot ad ezen helyzetek megfelelő közelítésére.

### 8.2.3. A vizsgált védelmi megoldások

Alkalmazkodva a PLANET szolgáltatások közül jelenleg használt védelmi megoldásokhoz, háromféle védelmi helyzet modellezését valósítottuk meg a jelenlegi szakaszban:

1. nem védett átviteli utak,
2. osztott elvezetésű védelem (jellegzetesen  $0.5 + 0.5$  típusú megoldás),
3. hálózati szintű útvédelem (jellegzetesen  $1 + 1$  típusú megoldás).

### 8.2.4. Az előállított megbízhatósági jellemzők

Az előállított megbízhatósági jellemzőket három csoportba sorolhatjuk:

#### 1. Átviteli igények megvalósításának megbízhatósági jellemzői:

Az előállított eredmények ekkor a megadott átviteli igényekre annak valószínűségét szolgáltatják, hogy az alkalmazott védelmi megoldás, valamint a konkrét hálózati elvezetés esetén mekkora a különböző kapacitásértékek rendelkezésre állásának valószínűsége (jellegzetes az igény megvalósításához szükséges kapacitás 0, 50 illetve 100 %-a).

#### 2. A hálózatelemek megbízhatósági jellemzői:

Az előállított eredmények ekkor az adott hálózatelemekre illetve azok kombinációjára az adott hibakonfiguráció valószínűségét, valamint az adott konfiguráció hibamélységét szolgáltatják.

#### 3. Hálózati szintű megbízhatósági jellemzők:

Az előállított jellemzők ekkor igénytípusonkénti illetve valamennyi igénytípusra együttesen teljes hálózatra vonatkozó integrált hálózatjellemtípusként a kieső kapacitások várható értékét szolgáltatják a megfelelő alsó- és felső korlátokkal együtt.

## 8.3. A kialakított megoldás fő lépései

A kialakított megoldás három jól elválasztható lépésre bontható, amelyek a következők:

- PLANET tervezési eredmények előfeldolgozása,
- megbízhatósági jellemzők előállítása,
- megbízhatósági jellemzők kiértékelése.

### 8.3.1. A PLANET tervezési eredmények előfeldolgozása

A megbízhatósági analízis ezen első lépése közvetlenül kapcsolódik a PLANET tervezőrendszerhez. Ebben a fázisban egy aktuális PLANET SDH topológiai tervváltozat, valamint az egyes hálózati alstruktúrákra megadott információk alapján valamennyi átviteli igényre meghatározásra kerülnek az igények átviteli útjainak nyomvonalai, valamint a nyomvonalon elhelyezkedő közös illetve alstruktúrafüggő hálózatelemek azonosítói.

### 8.3.2. A megbízhatósági jellemzők előállítása

Ebben a fázisban több feladat megoldására kerül sor. Egyrészt az útleírások alapján a szoftver előállítja egy-egy átviteli igény útjainak soros-párhuzamos megbízhatósági modelljét, majd a hálózatelemekre kiszámított kiesési időarányok alapján kiszámítja a megfelelő megbízhatósági jellemzőket, és előállítja a megfelelő meghibásodási valószínűségeket és megbízhatósági jellemzőket, illetve az utóbbiak alsó- és felső korlátját.

Ez a programfázis a PLANET rendszertől teljesen függetlenül, az első lépésben előállított ASCII fájlok alapján hajtható végre, többféle számítógépen is.

### 8.3.3. A megbízhatósági jellemzők kiértékelése

A megbízhatósági vizsgálatok eredményeként a vizsgált igényekre, adott hálózatelemekre illetve azok kombinációjára, valamint igénytípusokra és együttesen valamennyi igénytípusra jelennek meg feldolgozott eredmények, amelyek segítségével a felhasználó különböző hálózati megoldásokat vethet össze és hálózatelem megbízhatósági jellemzők hatását értékelheti.

Számos esetben azonban a tervező részletesebb elemzéseket is kíván végezni a kritikus helyzetek mélyebb vizsgálatával. Ehhez egy olyan kiértékelő fázist alakítottunk ki, amelyben az ASCII formátumú részeredményekhez hozzáférve további feldolgozást végezhet. Az értékelés ekkor magába foglalhatja a korábban említett igény- és hálózatelem-specifikus eredményeket, amelyeken megfelelő táblázatkezelőt (pl. EXCEL) alkalmazva mód van különböző rendezésekre és átlagolásokra.

## 8.4. Nyitott kérdések, továbbfejlesztési irányok

A kialakított megoldás alkalmas egy ésszerű megbízhatóság elemzési tevékenység elősegítésére, és arra alapozottan a megbízható szolgáltatásnyújtás támogatására. A szoftver létrehozása során törekedtünk arra, hogy már az első változat is alkalmas legyen a PLANET-tel megtervezett aktuális hálózatok megbízhatósági analízisére. A szoftver jelenlegi változata több irányban is nyitva hagyott kérdéseket, és bár azok megoldása a jelenlegi keretek között még nem biztosított, a továbbfejlesztésre több esetben is megtörténtek már a legfontosabb előkészületek.

A fontosabb továbbfejlesztési irányokat a következő öt csoportba sorolhatjuk:

1. védelmi modellezési lehetőségek kibővítése,
2. szolgáltatások minősítése - teljesítőképességi analízis,
3. részletesebb modellek alkalmazása,
4. felhasználói felület továbbfejlesztése,
5. hálózatelemek megbízhatósági jellemzőinek gyakorlati előállítás.

### 8.4.1. Védelmi modellezési lehetőségek kibővítése

Ez a továbbfejlesztés rövid távon sem látszik elkerülhetőnek. A kialakított megbízhatóság számítási modell már ma is alkalmas arra, hogy a jelenlegi védelmi eseteknél általánosabbakat is számoljon, ahhoz azonban, hogy azok leírhatók legyenek, a PLANET-ből biztosítani kell a különböző alstruktúráként védett megoldások (pl. öngyógyító gyűrűk, tartalékhálózatos szövevény) származtatásának lehetőségét.

Ugyanakkor meg kell azt is jegyeznünk, hogy ezek a megoldások várhatóan jelentősen növelik a számítási igényt, hiszen ezen esetekben a különböző hibás hálózati állapotok, kisebb-nagyobb mértékben új igénymegvalósítási utakat is eredményeznek.

### 8.4.2. Szolgáltatások minősítése - teljesítőképességi analízis

A leírási forma módját ad arra is, hogy a fizikai szintű meghibásodások szolgáltatásokra gyakorolt hatását is vizsgálni lehessen. Abban az esetben ugyanis, ha megadásra kerül az az információ, hogy az egyes átviteli utak hogyan vesznek részt az egyes forgalmi igények kielégítésében, mód nyílik a fizikai szinten modellezett meghibásodások magasabb rétegekre gyakorolt hatásának elemzésére is.

### 8.4.3. Részletesebb modellek alkalmazása

Megbízhatóságelméleti szempontból az egyik legérdekesebb továbblépési irányt a modellezés finomítása jelenti. Ezen továbbfejlesztés egyik lehetséges iránya az, hogy a megbízhatósági analízis szoftver ne a topológiai, hanem a rendszertechnikai tervhez kapcsolódjon, amely közvetlenül lenne képes adatokat szolgáltatni a részletesebb berendezésmodellhez.

Bármilyen nagynak látszik azonban a kísértés, ezen fejlesztés rövid távon nem látszik indokoltnak. Az várható ugyanis, hogy a modellezés finomítása az eredményeken számottevő mértékben nem változtat, miközben a számítási időigény várhatóan drasztikusan megnőne.

#### 8.4.4. Felhasználói felület továbbfejlesztése

A felhasználói felület továbbfejlesztése a megbízhatósági analízis tevékenység stabilizálódásával feltétlenül szükségesnek látszik. A célszerű továbbfejlesztés mindenképpen magába kell hogy foglalja:

- a tervezői lépések támogatását,
- az EXCEL-en belül a megbízhatósági eredmények kiértékelési háttérének továbbfejlesztését különböző szolgáltatások létrehozásával vagy EXCEL-en kívüli értékelési folyamatok kialakításával.

#### 8.4.5. Hálózatelemek megbízhatósági jellemzőinek gyakorlati előállítása

A jelenlegi szoftver változatban az egyes hálózatelemek megbízhatósági jellemzői egy különálló fájlon keresztül kerülnek specifikálásra. Az alkalmazott megoldás nagyon kedvező abból a szempontból, hogy egyetlen fájl adatainak módosításával a különböző hálózatelemek megbízhatósági jellemzőinek hatása könnyen elemezhető.

Ehhez kapcsolódóan nyilvánvaló, hogy - bár ez nem szoftverfejlesztési feladat - célszerű a MATÁV Rt-nél egy olyan folyamat megszervezése és fenntartása, amely a tervezőket folyamatosan megalapozott megbízhatósági alapadatokkal képes ellátni.



## 9. fejezet

# Hálózatmegbízhatóság számítás, felhasználói leírás

A hálózatmegbízhatósági számításokhoz kialakított szoftver a felhasználók számára nagyon egyszerűen kezelhető. A szoftver három fő lépésből áll:

1. PLANET tervezési eredmények előfeldolgozása,
2. megbízhatósági jellemzők előállítása,
3. megbízhatósági jellemzők elemzése.

A három fázis alapvetően eltérő feltételek között kerül végrehajtásra. A továbbiakban mindegyik fázisra vonatkozóan megadjuk a futtatási feltételeket, a felhasználó által elért vagy kezelt input és/vagy output fájlok szerkezetét és tartalmát, valamint a tervezői tevékenységet.

### 9.1. A megbízhatósági elemzések közös feltételei

A megbízhatósági elemzések elvégzéséhez két programnak és egy ASCII fájlnek kell rendelkezésre állnia. A két programot és az ASCII fájlt is az átadáskor a

\PLANET\RELPROG

alkönyvtárban telepítjük. A programok neve és funkciója a következő:

- **relprep.bat:**

A program az első fázist hajtja végre, azaz a PLANET tervezési eredmények előfeldolgozását végzi.

Elemtípus azonosító	Meghib. tény. [fit]	Kiesési időtart. [óra]	Megnevezés
DADM1	1000	5	ADM1
DADM4	2000	5	ADM4
DADM16	4000	5	ADM16
DSTM1	400	10	STM1 pár
DSTM4	800	10	STM4 pár
DSTM16	1600	10	STM16 pár
Dcsr	1	100	csomópontrobbanás
DOR	100	10	optikai rendező
DXC41	5000	12	DXC4/1
DXC44	10000	12	DXC4/4
LM	1000	10	mezei kábel
LV	5000	5	városi kábel
LE	3000	3	egyéb kábel

9.1. táblázat: Példa a megbízhatósági adatokat tartalmazó fájl szerkezetére

- **relcalc.bat:**

A program a második fázist hajtja végre, azaz a megbízhatósági jellemzők előállítását végzi.

A szükséges ASCII fájl a hálózatelemek megbízhatósági jellemzőjét tartalmazza. A fájl szerkezetét a 9.1. táblázat adja meg, amelynek egyes sorai 4-4 adatot tartalmaznak.

Az első adat egy karakteres azonosító, amely 'D' betűvel kezdődik, ha az adott elem meghibásodási rátája csak a darabszámtól függ, míg 'L' betűvel, ha a hosszúnak is függvénye.

A második jellemző a meghibásodási rátát adja *fit*-ben, amelyre

- $1\textit{fit} = 10^{-9}/\text{óra}$ : a darabfüggő hálózatelemekre, illetve
- $1\textit{fit} = 10^{-9}/\text{óra}/\text{km}$ : a hossztól is függő hálózatelemekre.

A harmadik jellemző a várható javítási időt adja órában, míg a negyedik oszlop egy magyarázó megnevezést tartalmaz, amely a jelenlegi változatban nem kerül közvetlenül felhasználásra, de hosszabb távon az eredmények dokumentálásában szerepet játszhat.

Gráfelem azonosító	Elemtípus azonosító
C*:	Dcsr DOR
S*C*:	DADM4
S1C*:	DMUX1
S9C101:	DXC41
S9C109:	DXC41
S9C172:	DXC41
E*:	LM
S9E*:	DSTM16
S*E*:	

9.2. táblázat: Gráfmodell elemek és hálózatelemek összerendelése

## 9.2. A PLANET tervezési eredmények előfeldolgoása

A megbízhatósági analízis ezen első lépése közvetlenül kapcsolódik a PLANET tervezőrendszerhez. A fázisban egy aktuális PLANET SDH topológiai tervváltozat, valamint az egyes hálózati alstruktúrákra megadott információk alapján valamennyi átviteli igényre meghatározásra kerülnek az igények átviteli útjainak nyomvonalai, valamint a nyomvonalon elhelyezkedő közös illetve alstruktúrafüggő hálózatelemek azonosítói.

### 9.2.1. Futtatási környezet

A futtatási fázis végrehajtásához egy kész topológiai tervváltozat eredményeinek kell a \PLANET\SDH.WORK munkaterületen rendelkezésre állni, továbbá szükség van a \PLANET\SDH.REL munkaterületen a 9.2. táblázatban specifikált fájlra is.

### 9.2.2. Input fájlok szerkezete és tartalma

A 9.2. táblázatban specifikált fájl tartalma a következő:

Az első oszlop a hálózatot leíró gráf elemeit azonosítja, míg a második oszlop a 9.1. táblázatban megadott elemtípusokra hivatkozik. Az első oszlop egy eleme a következő formátumú:

- C\*: valamennyi csomópontra értelmezett, alstruktúrától független közös hibaok,

- $E^*$ : valamennyi élre értelmezett, alstruktúrától független közös hibaok,
- $S^*C^*$ : valamennyi csomópontra értelmezett, alstruktúrától függő hibaok alapértelmezése,
- $S^*E^*$ : valamennyi élre értelmezett, alstruktúrától függő hibaok alapértelmezése,
- $C_y$ : adott ( $y$ .) csomópontra érvényes közös hibaok,
- $E_z$ : adott ( $z$ .) élre érvényes közös hibaok,
- $S_xC_y$ : adott ( $x$ .) alstruktúra adott ( $y$ .) csomópontjára érvényes alstruktúrától függő hibaok alapértelmezése,
- $S_xE_z$ : adott ( $x$ .) alstruktúra adott ( $z$ .) élre érvényes alstruktúrától függő hibaok alapértelmezése,

ahol a második oszlop mindig az első oszlopban értelmezett gráfelemekre adja meg a megfelelő hálózatelemek üres karakterekkel vagy vesszővel megadott listáját. Abban az esetben, amikor a második oszlop üres, az adott gráfelemhez nem tartozik hálózatelem.

Az első oszlop fenti megadási szabálya mellett egy-egy gráfelem többszörösen is definiálásra kerülhet. A többszörös definíció értelmezési szabályai a következők:

1. Minden gráfelemhez (csomóponthoz vagy élhez) tetszés szerinti számú közös hibaokot vagy alstruktúrafüggő hibaokot jelentő hálózatelem kapcsolódhat.<sup>1</sup>
2. A közös hibaok hatására az adott hálózatelem úgy hibásodik meg, hogy a hálózatelemen áthaladó valamennyi átviteli út használhatatlanná válik. Amennyiben az adott ( $y$ .) csomópontra a  $C_y$  kezdetű sorban hálózatelem típusokat sorolunk fel, akkor ez az értelmezés ezen csomópontra a  $C^*$  kezdetű általános értelmezést felülírja. Ugyanilyen módon az  $E_z$  jelölés után egyedi módon adhatunk meg közös hibaokokat meghatározó hálózatelemeket egy adott ( $z$ .) élre vonatkozóan is.

---

<sup>1</sup>A megbízhatósági számítás lassító többlemű listákat célszerű olyan hálózatelem értelmezésekkel rövidíteni, amelyek több alapelemet egyszerre modelleznek.

3. A közös hibaokok mellett olyanok is értelmezhetők, amelyek egy-egy csomópontban vagy élen csak egy adott (x.) alstruktúrában értelmezettek. A közös hibaokokhoz hasonlóan ezen hibaok alapértelmezése is felülírható az adott alstruktúra egy adott csomópontjára vagy élére vonatkozóan.<sup>23</sup>

### 9.2.3. Futtatási tevékenység

Amennyiben a \PLANET\SDH\_WORK munkaterületen rendelkezésre áll a vizsgálni kívánt SDH topológiai tervváltozat, valamint a \PLANET\SDH\_REL munkaterületen a 9.2. táblázat szerinti fájl, a felhasználó elindíthatja a \PLANET\SDH\_PROG munkaterületen lévő relprep.bat nevű programot.

A program a PLANET-en belül leírt átviteli utak minden gráfeleméhez hozzárendeli a megfelelő közös és alstruktúrafüggő hibaokokat megadó hálózatelemeket a védelmi megoldás módjával, és az egyes utakon rendelkezésre álló átviteli kapacitások nagyságával együtt.

## 9.3. A megbízhatósági jellemzők előállítása

Ebben a fázisban több feladat megoldására kerül sor. Egyrészt az útleírások alapján a szoftver előállítja egy-egy átviteli igény útjainak soros-párhuzamos megbízhatósági modelljét, majd a hálózatelemekre kiszámított kiesési időarányok alapján kiszámítja a megfelelő megbízhatósági jellemzőket, és előállítja a megfelelő meghibásodási valószínűségeket és megbízhatósági jellemzőket, illetve az utóbbiak alsó- és felső korlátját.

Ez a programfázis a PLANET rendszertől teljesen függetlenül, az első lépésben előállított ASCII fájlok alapján hajtható végre, többféle számítógépen is.

### 9.3.1. Futtatási környezet

A megbízhatósági analízis ezen első lépése közvetlenül kapcsolódik a PLANET tervezőrendszerhez. Ebben a fázisban egy aktuális PLANET SDH topológiai tervváltozat, valamint az egyes hálózati alstruktúrákra megadott információk

---

<sup>2</sup>Vegyük észre, hogy pl. Cy az y. csomópont olyan hibaokát definiálja, amely minden rajta áthaladó átviteli igényre egyetlen hálózatelem meghibásodásával hat, míg S\*Cy azt értelmezi, hogy az y. csomópontban minden alstruktúrában ugyanazon típusú hálózatelem található.

<sup>3</sup>A defíált struktúra felülírja a defíniált csomópontot, azaz az S9Cy azonosítás az érvényes az SxC99 helyett.

alapján valamenynyi átviteli igényre meghatározásra kerülnek az igények átviteli útjainak nyomvonalai, valamint a nyomvonalon elhelyezkedő közös illetve alstruktúrafüggő hálózatelemek azonosítói.

### 9.3.2. Input fájlok szerkezete és tartalma

A bemeneti fájlok három típusba sorolhatóak: ELM, SCE és FOT fájl. Ezekre példát rendre az 1., 2., és 3. mellékletben találhatunk. A fájlok leírása korábbi alfejezetekben olvasható.

### 9.3.3. Futtatási tevékenység

A relcalc.bat program futtatásával a következőkben definiált bemeneti fájlokból létrehozható számos kimeneti fájl, melyek leírása külön alfejezetben olvasható.

Most ismerkedjünk meg a relcalc.bat fájljal, hogy azt szükség szerint módosítva a lehető legkülönbözőbb igényeknek megfelelő feldolgozást elvégezhessünk.

A fájl az alábbi parancsokat tartalmazza:

- FOT -eelm -ssce -fdem1.fot -fdem2.fot -fdem3.fot -fdem4.fot -fdem5.fot -fdem6.fot -fdem7.fot -fdem8.fot -bbig -m
- FRELI -bbig -wwls -tit1 -Tit2 -m
- WEIGHTS -iwls -ohls -2 -n1000 -P1e-6 -m
- FRELI -bbig -hhls -iils -ffls -khst -sfst -m

Az első parancs a FOT fájlokat (lsd. 3. melléklet) alakítja át egy bináris fájljává (BIG), mégpedig az ELM (lsd. 1. melléklet) és az SCE (lsd. 2. melléklet) fájlok segítségével. Az ELM fájl nevét -e argumentum után kell megadni, majd -s után az SCE fájl nevét. Ezután következhetnek a FOT fájlok nevei, egyenként -f argumentummal jelölve. Amennyiben azt szeretnénk, hogy néhány FOT fájl feldolgozása a többitől különböző SCE fájljal történjen, akkor újabb -s argumentum (és fájl név) után következhet ezen FOT fájlok felsorolása. Ilyen módon nem adhatunk meg több ELM fájlt. A kimeneti bináris fájl nevét -b argumentummal kell megadnunk. Ha ezt elhagyjuk, nem jön létre binári fájl. ASCII kimenetet (IGN fájl) -i argumentummal kaphatunk, ez a fájl azonban további feldolgozásra nem alkalmas. Természetesen a -i és a -b argumentum

együtt is használható. Ha a feldolgozás menetéről tájékozódni szeretnénk (ami hosszú futás esetén hasznos lehet), akkor használjuk a -m argumentumot.

A második és negyedik parancs ugyanazt az EXE programot hívja, most ismerkedjünk meg ennek az argumentumaival. Kötelező használni a -b argumentumot, mely az előző parancs bináris kimeneti fájljának a nevét határozza meg. Ez az egyetlen bináris fájl a feldolgozás során, a többi mind egyszerűen olvasható ASCII. A további argumentumok tetszőlegesen kombinálhatóak, használatuk nem kötelező. A -w argumentum WLS fájl (ld. 8. melléklet) létrehozatalára utasít. A fájl ismertetése a többi kimeneti fájllal együtt külön alfejezetben olvasható. A -t és -T argumentum segítségével az IT1 és IT2 kimeneti fájlok nevét adhatjuk meg, a -i, -f, -k, -s argumentumokkal pedig rendre az ILS, FLS, HST, FST kimeneti fájlok neveit. Ez utóbbi négy argumentum csak a -h argumentummal együtt hatásos, mely a bemeneti HLS fájl nevét definiálja. Szintén használható a nyomkövetésre utasító -m, valamint a -d argumentum, mely után azt kell megadnunk (egész számmal), hogy az eredményeket hány tizedesjegyre kívánjuk megkapni. Ha ezt nem határozzuk meg, akkor 2 tizedesre kerekítve kerülnek a számok a kimeneti ASCII fájlokba.

A harmadik parancs egy önállóan is használható programot hív, melynek részletes ismertetete nem szükséges. Jelen esetben WLS fájlt alakítjuk át vele HLS fájlja. (-i és -o argumentumok.) A -2 argumentum helyett ne használjunk mást! Szükség szerint megadhatóak a -m (nyomkövetés) és -d (tizedesjegyek száma) argumentumok. A -n, -p, -P argumentumokkal kapcsolatban bővebb információ a HLS fájl leírásánál olvasható.

### 9.3.4. Eredményfájlok szerkezete és tartalma

**Összesített megbízhatósági statisztika (FST fájl, ld. 4. melléklet)**

Igényfajtánként összesített táblázat. Az egyes oszlopok jelentése a következő:

- FAJTA: Az igényfajta sorszáma.
- #IGN: Az igényfajtába tartozó igények száma.
- ÉRImin, ÉRImax: Alsó és felső becslés arra, hogy az igényfajtához tartozó igények mekkora részét 'érintik' a meghibásodások. Akkor mondjuk, hogy egy hiba érint egy igényt, ha az igényt megvalósító olyan (egy vagy több) eszköz hibásodik meg, mely kiesése önmagában nem okoz kapacitáskiesést.

- SÉRmin, SÉRmax: Alsó és felső becslés arra, hogy az igényfajtahoz tartozó igények mekkora része 'sérül' a meghibásodások hatására. Akkor mondjuk, hogy egy hiba sérülést okoz egy igényben, ha az igényt megvalósító olyan (egy vagy több) eszköz hibásodik meg, mely kiesése kapacitáskiesést okoz ugyan, de még marad használható kapacitás.
- HIBmin, HIBmax: Alsó és felső becslés arra, hogy az igényfajtahoz tartozó igények mekkora része 'hibásodik meg' a meghibásodások hatására. Akkor mondjuk, hogy egy hiba meghibásodást okoz egy igényben, ha az igényt megvalósító olyan (egy vagy több) eszköz hibásodik meg, mely kiesése az igény teljes kapacitását kiejti.
- KT: Az igényfajtaba tartozó igények összkapacitása.
- KIEmin: KIEmax: Alsó és felső becslés arra, hogy az igényfajtahoz tartozó igények kapacitásának mekkora része esik ki.

Az utolsó sor az igényfajtak feletti átlagot tartalmazza. Az #IGN oszlop az összes igény száma, a következő hat oszlop a megfelelő értékek igényszámmal súlyozott átlaga, KT-be az összes igény összes kapacitása kerül, az utolsó két oszlop pedig a megfelelő értékek összkapacitásokkal súlyozott átlaga. A megbízhatósági analízis ezen első lépése közvetlenül kapcsolódik a PLANET tervezőrendszerhez. Ebben a fázisban egy aktuális PLANET SDH topológiai tervváltozat, valamint az egyes hálózati alstruktúrákra megadott információk alapján valamenynyi átviteli igényre meghatározásra kerülnek az igények átviteli útjainak nyomvonalai, valamint a nyomvonalon elhelyezkedő közös illetve alstruktúrafüggő hálózatelemek azonosítói.

### Hibakombinációk összesített hatása (HST fájl, lsd. 5. melléklet)

A HLS fájlban (lsd. később) megadott hibakombinációk összesített hatása.

- #ÉRI: A hibakombináció által érintett igények száma.
- #SÉR: A hibakombináció hatására sérült igények száma.
- #HIB: A hibakombináció hatására meghibásodott igények száma.
- KK: A hibakombináció hatására kiesett kapacitás.
- VALS: A hibakombináció valószínűsége.



- ESZKÖZÖK: A hibakombináció leírása. (A hibás elemek listája.)

### Hibakombinációk hatása igényfajtként részletezve (FLS fájl, lsd. 6. melléklet)

A HLS fájlban (lsd. később) megadott hibakombinációk hatása az egyes igényfajtákra.

- F: Az igényfajta sorszáma.
- #ÉRI: A hibakombináció által érintett igények száma az igényfajtan belül.
- #SÉR: A hibakombináció hatására sérült igények száma az igényfajtan belül.
- #HIB: A hibakombináció hatására meghibásodott igények száma az igényfajtan belül.
- KT: Az igényfajtához tartozó igények összkapacitása.
- KK: A hibakombináció hatására kiesett kapacitás az igényfajtan belül.
- VALS: A hibakombináció valószínűsége.
- ESZKÖZÖK: A hibakombináció leírása. (A hibás elemek listája.)

### Hibakombinációk hatása igényenként részletezve (ILS fájl, lsd. 7. melléklet)

A HLS fájlban (lsd. később) megadott hibakombinációk hatása az egyes igényekre. A fájl sorainak száma egyenlő a hibakombinációk számának és az igények számának a szorzatával, tehát igen nagy fájl lehet. Gondoljunk erre, ha megadjuk a -i argumentumot!

- F: Az igényfajta sorszáma.
- IGN: Az igény (fajtan belüli) sorszáma.
- KPN: Az igény kezdőpontjának sorszáma.
- VPN: Az igény végpontjának sorszáma.

- KT: Az igény igényelt kapacitása.
- KM: Az igény működő kapacitása.
- H: Az okozott hiba típusa:
  - 0: nincs hiba
  - 1: az igényt érinti a hibakombináció
  - 2: az igény sérül a hibakombináció hatására
  - 3: az igény meghibásodik a hibakombináció hatására
- VALS: A hibakombináció valószínűsége.
- ESZKÖZÖK: A hibakombináció leírása. (A hibás elemek listája.)

#### **Konkrét eszközök listája (WLS fájl, 8. melléklet)**

Az első néhány sorban az ELM fájlban található elemek listája helyezkedik el, feltüntetve a kiesési időarányokat. (Hosszfüggő elemekre csak a meghibásodási tényező és a kiesési időtartam szorzata.) A konkrét eszközök listája { és } zárójelek között szerepel. A sor elején van a kiesési időarány. (Hosszfüggő elemre is, hiszen konkrét elem esetén már ismert a hossz.) Ezután következik az eszköz neve, melyből kiderül az elem típus, az alstruktúra, a csomópont vagy az él száma is. A sor végén kétszer szerepel az eszköz sorszáma. Ennek oka, hogy így ez a fájl a következőkben leírt HLS fájl formátumának is megfelel, tehát a helyett is használható. A megfeleltetés visszafelé nem igaz, tehát a HLS fájl nem helyettesítheti a WLS fájlt!

#### **Hibakombinációk listája (HLS fájl, 9. melléklet)**

Ez a fájl határozza meg a vizsgálni kívánt hibakombinációkat a { és } zárójelek között. A sor elején található a hibakombináció valószínűsége. A következő értéket úgy kapjuk, hogy a már szerepelt kombinációk valószínűségeit kivonjuk 1-ből. Itt feltételezzük, hogy (bár ilyen sor nem látható) a hibamentes eset a legelső kombináció. Ha egy kombinációt sem adunk meg egynél többször, akkor ez az érték az elhanyagolt kombinációk valószínűségeinek összege. Ha kézzel hozzuk létre a HLS fájlt, akkor az első két érték helyett nyugodtan írhatunk 0-kat, mert FRELI.EXE ugyanis mindig újra kiszámítja a helyes értékeket. A harmadik szám csak a kombinációk sorszámozását szolgálja. A kettőspont után

következik a hibakombinációban szereplő hibás elemek felsorolása. Az itteni számok a WLS fájlban felsorolt eszközök ott megadott sorszámai. Zárójelben szerepel a WLS fájlban belüli sorszám is, de ezt nem kötelező megadni.

Ezt a fájlt WEIGHTS.EXE-vel létrehozhatjuk WLS-ből, vagy kézzel is szerkeszthetjük, ha betartjuk a szintaktikai szabályokat. Az előbbi esetben a hibakombinációkat valószínűségük szerint csökkenő sorrendben kapjuk. A listázott kombinációk száma WEIGHTS.EXE számára a -n argumentummal adható meg. (Default: 100.) A listázás leáll akkor is, ha a kombináció valószínűsége a -p argumentummal megadott érték alá, vagy az elhanyagolt kombinációk valószínűségének összege a -P argumentummal megadott érték alá csökken. Ha WLS szintaktikusan hibás sorokat tartalmaz, akkor WEIGHTS.EXE ezeket figyelmen kívül hagyja, de felsorolja őket az első sorban. ("Hibás sorok listája:")

#### **Igények kieső kapacitásának eloszlása (IT1 fájl, lsd. 10. melléklet)**

F: Az igényfajta sorszáma. IGN: Az igény (fajtan belüli) sorszáma. KK: A kieső kapacitás értéke. VALS: Annak a valószínűsége, hogy KK kapacitás esik ki az igényből.

9.4.y.7: Igények kieső kapacitásának várható értéke (IT2 fájl, lsd. 11. melléklet)

- F: Az igényfajta sorszáma.
- IGN: Az igény (fajtan belüli) sorszáma.
- KPN: Az igény kezdőpontjának sorszáma.
- VPN: Az igény végpontjának sorszáma.
- KT: Az igény igényelt kapacitása.
- KIE: A kieső kapacitás várható értéke.

## **9.4. A megbízhatósági jellemzők kiértékelése**

A megbízhatósági vizsgálatok eredményeként a vizsgált igényekre, adott hálózatelemekre illetve azok kombinációjára, valamint igénytípusokra és együttesen valamennyi igénytípusra jelennek meg feldolgozott eredmények, amelyek

segítségével a felhasználó különböző hálózati megoldásokat vethet össze és hálózatelem megbízhatósági jellemzők hatását értékelheti.

Számos esetben azonban a tervező részletesebb elemzéseket is kíván végezni a kritikus helyzetek mélyebb vizsgálatával. Ehhez egy olyan kiértékelő fázist alakítottunk ki, amelyben az ASCII formátumú részeredményekhez hozzáférve további feldolgozást végezhet. Az értékelés ekkor magába foglalhatja a korábban említett igény- és hálózatelem-specifikus eredményeket, amelyeken megfelelő táblázatkezelőt (pl. EXCEL) alkalmazva mód van különböző rendezésekre és átlagolásokra.

#### **9.4.1. Futtatási környezet**

A futtatási környezet valamilyen táblázatkezelő elérését igényli.

#### **9.4.2. Input fájlok szerkezete és tartalma**

A felhasználható bemeneti fájlok a Mellékletben elérhető összes fájl.

#### **9.4.3. Futtatási tevékenység**

A szokásos táblázatkezelő futtatási tevékenység.

## 10. fejezet

# Összefoglalás

A távközlő hálózatok átviteli funkcióinak megbízhatósági minősítése nagyon sokrétű, nagy bonyolultságú feladat, amelynek megoldása szerteágazó, nem minden esetben elérhető, irreális méretű adathalmazra épül, és általános esetben nem kivitelezhető számításigényű algoritmusok végrehajtását igényli. A dolgozat, célkitűzése alapján olyan ismereteket és elkészült megoldásokat mutat be, amelyek e megoldhatatlan feladat megoldható közelítéseit adják. A bemutatott számítási megoldások mellett ismertetésre kerül a témakör vonatkozó szabványainak gyűjteménye, továbbá a paraméterek meghatározásának nehézségei mellett a számítások bemenő adatainak bizonytalanságát és az eredmények felhasználásának lehetséges módjait és problémáit is összefoglaltuk.

Az elkészült hálózat elemző program-modul lehetővé teszi, hogy a Magyar Távközlési Vállalatnál megkezdődjön egy hálózatmegbízhatóság irányú adat- és ismeretfelhalmozási folyamat, amelynek keretében a fent ismertetett szempontok alapján lehetőség nyílik egyrészt egy ezirányú adatgyűjtési rendszer kialakítására, másrészt a hálózatmegbízhatósági paraméterek döntéselőkészítési szerepének értékelésére, harmadrészt további paraméterek meghatározására alkalmas vizsgálati módszerek kidolgozására, és esetleges implementálására.



# Irodalom

- [1] Choi, M. and Krishna, C.M. On Measures of Vulnerability of Interconnection Networks. *Microelectron. Reliab.*, Vol.29, No.6. pp 1011-1020, 1989
- [2] Page, L.B. and Perry, J.E. Hypermedia and Network Reliability. *Microelectron. Reliab.*, Vol.28., No.5., pp.793-800, 1988
- [3] Ball, M.O. Complexity of Network Reliability Computations. *Networks*. Vol.10.(1980), pp.153-165. 1980
- [4] Boesch, F.T. Synthesis of Reliable Networks - a Survey. *IEEE Trans. on Reliability*, Vol.R-35. No.3. pp.240-246, 1986.
- [5] Lee, S.H. Reliability evaluation of a flow network. *IEEE Trans. on Rel.*, Vol.R-29, pp.24-26, 1980
- [6] Aggrawal, K.K. Integration of Reliability and Capacity in Performance Measure of a Telecommunication Network. *IEEE Trans. on Reliab.*, Vol.R-34, pp.184-186, 1985
- [7] Ulrich Moll Network Reliability Measures and Their Application to Transmission Network Planning. In proc. of Networks'96, pp.315-320, 1996





# A. függelék

## Jelölések

$c_{ij}$  —  $G$  gráf  $e_{ij}$  élén elvezethető maximális üzemi kapacitás értéke

$D$  — a  $G$  gráfon elvezetendő igények halmaza

$d(G)$  —  $G$  gráf átmérője

$d_{act}(S_i)$  —  $S_i$  állapotban elvezethető igények összege

$d_i$  —  $v_i$  csomópont fokszáma

$d_{ij}$  —  $D$  egy eleme, a  $G$  gráf  $v_i$  és  $v_j$  csomópontja között elvezetendő igény

$d_{sum}$  —  $d_{ij}$  igények összege

$\delta(G)$  —  $G$  gráf csomópontjainak minimális fokszáma

$E$  —  $G$  gráf éleinek halmaza

$e_{ij}$  —  $E$  egy eleme, a  $G$  gráf  $v_i$  és  $v_j$  csomópontjai közötti él

$f_i$  — adott  $S_i$  állapotban a maximális folyam értéke

$f_{max}$  —  $G$  gráf maximális folyamának értéke

$G$  — Gráf

$\kappa(G)$  —  $G$  gráf csomópont összefüggősége

$\lambda(G)$  —  $G$  gráf él összefüggősége

$m$  —  $G$  gráf éleinek száma, azaz  $E$  számossága

$NPI$  — Hálózati teljesítmény index

$NPI_T$  — Hálózati teljesítmény index  $T$  feladatra

$NPI^{dyn}$  — Dinamikus hálózati teljesítmény index

$NPI^{stat}$  — Statikus hálózati teljesítmény index

$n$  —  $G$  gráf csomópontjainak száma, azaz  $V$  számossága

$P$  — valószínűség

$P(e_{ij})$  — az  $e_{ij}$  él meghibásodási valószínűsége

$P(S_i)$  — az  $S_i$  állapot valószínűsége

$P_{BerHiba}$  — egy berendezés meghibásodási valószínűsége

$P_{kBerHiba}$  — ikerberendezések esetén az egyszeri (nem duplikált) rész meghibásodási valószínűsége

$P_{KapcsHiba}$  — Védelmi kapcsolók meghibásodási valószínűsége

$P_{elv.}$  — elvezethetőség valószínűsége

$Perf_{max}$  —  $T$  legjobb megoldása  $G$  gráf teljes rendelkezésre állása esetén

$Perf_T(S_i)$  —  $T$  legjobb megoldása  $S_i$  állapotban

$PI$  — Teljesítmény index

$p_{ij}$  — az  $e_{ij}$  él rendelkezésre állási valószínűsége

$R_{kp}$  — a hálózat egy központjának megbízhatósága

$R_{kp}^*$  — központmegbízhatóság átmenő igényekre

$R_{kp}^{m/n}$  —  $m/n \cdot 100$  %-ban megbízható központ megbízhatósága

$R_{st}$  —  $G$  gráf  $v_s$  és  $v_t$  csomópontja közötti út

$Rel_K(G)$  —  $G$  gráf K-terminál-megbízhatósága

$r_{ij}$  — az  $e_{ij}$  él védelmi kapacitásának értéke

$S$  — a  $G$  gráf állapotainak halmaza

$S_i$  —  $S$  egy eleme

$T$  — általános feladat jelölése

$T_i$  — Adott időtartamok, időszakaszok jele pl.:

$T_1$  — Működőképes szakasz ideje

$T_2$  — Javításra várakozó szakasz ideje

$T_3$  — Javítás alatti szakasz ideje

$V$  —  $G$  gráf csomópontjainak halmaza

$v_i$  —  $V$  egy eleme

$w_i$  — súlytényező

$w_{ij}$  —  $d_{ij}$  igény fontossági súlytényezője