

Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés



A kisfeszültségű villamos elosztóhálózat ellátásbiztonságának korszerű megoldásai

Holcsik Péter

Témavezető:

Novothny Ferenc

címzetes egyetemi tanár

Biztonságtudományi Doktori Iskola

Budapest, 2019. 02. 20.

Szigorlati bizottság:

Elnök:

Dr. Berek Lajos, professor emeritus

Tagok:

Dr. Kádár Péter, egyetemi docens, ÓE

Dr. Ferenci Tamás, adjunktus, ÓE

Dr. Čzonka Zsolt, adjunktus, TUKE, Košice, Slovakia

Nyilvános védés teljes bizottsága:

Opponensek:

Belső: Dr. Morva György, főiskolai tanár, ÓE

Külső: Dr. Mihai Avornicului, adjunktus, Babeş–Bolyai

Elnök:

Prof. Dr. Rajnai Zoltán egyetemi tanár, ÓE

Tagok:

Dr. Dineva Adrien adjunktus, ÓE

Dr. Berek Lajos professor emeritus, ÓE

Dr. Bagi István, c. egyetemi docens, külső - BME

Titkár:

Dr. Pálfi Judith, adjunktus, ÓE

Nyilvános védés időpontja:

2020

BEVEZETÉS	5
A KUTATÁSI TERÜLET	7
1 A magyar villamosenergia-rendszer	8
1.1 A minőségi mutatók rendszere	13
1.1.1 A villamosenergia-ellátás folytonosságának mutatói (nem szankcionált)	14
1.1.2 A villamosenergia-ellátás folytonosságának mutatói (szankcionált mutatók)	14
1.1.3 Az elvárt adatmegbízhatóság	16
1.2 A kutatás területének kijelölése	17
2 A kutatómunka tudományos előzményei a szakirodalomban.....	19
2.1 A NAF-, KÖF- és KIF-hálózatok topológiai felépítése	19
2.2 A KIF-üzemzavarok elhárítása: a KIF-hibacímütemező-rendszer	20
2.3 Táv- és automatikus beavatkozásra alkalmas eszközök alkalmazása az üzemzavar- elhárításban	25
2.4 Múló jellegű zárlatok hatásainak csökkentése	27
2.4.1 Visszakapcsoló automatikák alkalmazása a múló jellegű zárlatok elhárításában	29
2.4.2 Recloserek alkalmazása	31
2.5 Meghibásodott fogyasztók számának meghatározása	32
3 A kutatás célja, hipotézisek	34
ALKALMAZOTT ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK	35
4 A kutatáshoz használt adatbázisok.....	36
4.1 Az ELMŰ-ÉMÁSZ hálózat-nyilvántartási rendszere	36
4.2 Az ELMŰ-ÉMÁSZ munkairányítási és KIF-üzemirányítási rendszere.....	38
4.3 Az Oracle BI Discoverer	39
5 A kutatásban alkalmazott tudományos módszerek	40
5.1 Rendszerek gráfmodellezése	40
5.2 Gráfmodellek hálózattudományi vizsgálata	44
5.2.1 Struktúra	45
5.2.2 Átlagos fokszám	45
5.2.3 Fokszámeloszlás	45
6 Alkalmazott adatbányászati eszközök bemutatása	47
6.1 A döntési fa.....	47
6.2 A Random Forest algoritmus.....	48
6.3 A keresztvalidáció	49
6.4 Keveredési mátrix.....	50
6.5 A ROC görbe	51

KUTATÁSI EREDMÉNYEK	53
7 Hálózati hibák által érintett fogyasztói szám determinálása	54
7.1 A CONAM mátrix	57
7.2 A CONAM módszer három fő lépése	58
7.3 A CONAM mátrix példán keresztül történő bemutatása.....	58
8 Az átviteli és elosztóhálózati gráfmodell (TDNm)	62
8.1. Az elosztószekrények koordinátájának meghatározása.....	64
8.2 Verifikálás és validálás	64
8.3 A kapcsolati tér.....	64
8.4 A végfelhasználók kapcsolati adattáblái.....	66
8.5 A KÖF/KIF feszültségszintek közötti kapcsolati adattábla.....	67
8.6 A TDNm modell vizualizációja.....	67
8.7 A TDNm modell tulajdonságai.....	71
9 A CONAM metódus validálása	73
9.1 Az STDNm tulajdonságai.....	73
9.2 A CONAM metódus végrehajtása a mintán	75
10 A SiSS modell	78
10.1 Az SSB	81
10.2 A SiSS modell szimulált példán történő bemutatása.....	81
11 Az SSB bevezetésének hatásossága a KIF-hálózaton	88
11.1 SSB-hatásosság meghatározása véletlenszerű mintavételezés alkalmazásával.....	89
11.1.1 A mintavételezés tulajdonságai	90
11.1.2 Adatbázis és statisztika készítése MIRTUSZ-munkalapokból.....	90
11.1.3 Egy naptári évre vetített elérhető maximális hatékonyság meghatározása	91
11.1.4 A kumulált hatékonysági függvény meghatározása regresszióanalízis alkalmazásával.....	92
11.1.5 A „platformanomália”	95
11.2 Mintavétel egyedszámának bővítése gépi tanulás alkalmazásával.....	96
11.2.2 Az adattárház létrehozása	97
11.2.3 Adattranszformációk és adattisztítás	98
11.2.4 A modell	99
11.2.3 A modell tulajdonságai.....	100
11.2.4 Az egyedszámok bővítésének eredménye	103
11.3 Az SSB optimális implementációja	104
11.3.1 A nemlineáris regresszió	105

11.3.2 A polinomiális regresszió	106
Összegzés	109
Új tudományos eredmények, tézisek	110
Javaslatok a kutatás folytatására.....	111
Rövidítések jegyzéke	112
Irodalomjegyzék	114
Holcsik Péter közleményei.....	122
Ábrajegyzék	125
Köszönetnyilvánítás	128
Mellékletek	129

BEVEZETÉS

Ma már szinte természetesnek vesszük, hogy folyamatosan rendelkezésünkre áll a villamos energia. Az ellátásbiztonság igénye – különös tekintettel az informatikai eszközök térnyerésére és azok szinte nélkülözhetetlenségére – folyamatosan nő [1]. A fogyasztó csupán egy tervezett, vagy egy nem tervezett áramszünet – úgynevezett szolgáltatás kieséssel járó üzemzavar – esetén észleli, hogy a pénztárgépek nem működnek, így nem tud vásárolni, a pékségben a villamos energiával fűtött kemencék leállnak, a hűtők nem hűtenek, nyáron az élet elviselhetetlen lesz, mert a klímák sem működnek. A kézpénzfelvételi automaták (ATM-ek) sem működnek, a GSM átjátszóállomások néhány óra múlva nem biztosítanak térerőt a mobiltelefonok normál működéséhez, mert az akkumulátoros szünetmentes ellátás energiataralma is véges. Hosszabb üzemszünet esetén teljesen leáll a hivatalokban a munkavégzés, megállnak egyes tömegközlekedési eszközök, a kórházak pedig csak a legszükségesebb berendezéseiket üzemeltethetik [2].

David von Hippel, az ENSZ Gazdasági és Szociális Minisztériumának energiabiztonsági szakértője így vélekedik erről: „Egy nemzetállam energia szempontjából biztonságos, amennyiben energiahordozók és -szolgáltatások olyan mértékben állnak rendelkezésre, hogy a) a nemzet túlélése, b) a jólét védelme és c) az ellátásból és használatból eredő kockázatok minimalizálása biztosítva legyen. Az energiabiztonság öt dimenziója magába foglalja az energiaellátás, gazdaság, technológia, környezet, társadalom és kultúra, valamint honvédelem dimenzióit.” [3 p. 2]

A feladat – amelynek elvégzési módját és célját is közvetetten definiálta Hippel – kettős: egyrészt megfelelő mennyiségű és minőségű energiahordozó szükséges, másrészt a szolgáltatás rendelkezésre állását gazdaságosan biztosítani kell. Előbbi elsősorban geopolitikai, míg utóbbi műszaki jellegű kérdés. A jelen disszertációban közölt – alkalmazott műszaki tudományos kutatómunka – eredményei az utóbbi cél eléréséhez kívánnak hozzájárulni.

A KUTATÁSI TERÜLET

1 A magyar villamosenergia-rendszer

A villamosenergia-szolgáltatás folyamatosságának és megbízhatóságának növelése, azaz a szolgáltatás kiesésével járó üzemzavarok időbeni hosszának és az érintett fogyasztók számának csökkentése a villamos energia átvitelére és elosztására engedéllyel rendelkező vállalatok (áramszolgáltatók) elsődleges műszaki célkitűzése. (Erőművi kérdésekre a jelen értekezés nem tér ki).

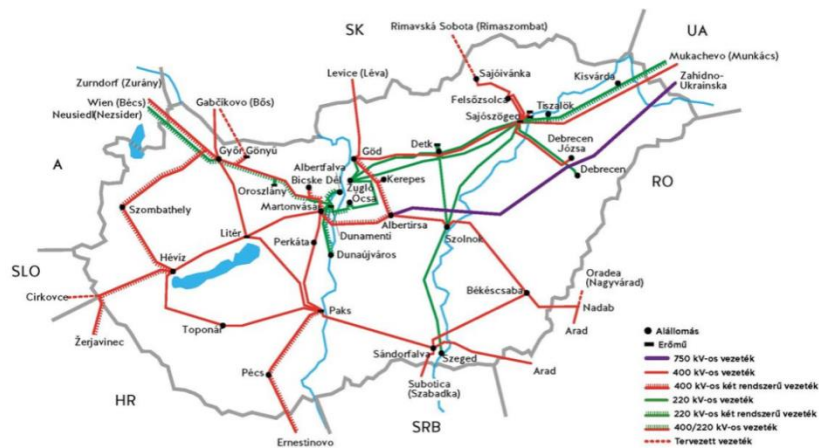
A magyarországi és az európai villamosenergia-rendszer hierarchikus felépítésű. A hálózat topológiai szempontból három jól definiált részre tagolható: a 750, 400, 220 és 120 kV-os nagyfeszültségű átviteli hálózat¹ (NAF), ez alatt helyezkedik el a 35, 20, és 11 kV-os közepfeszültségű elosztóhálózat² (KÖF), majd a lakossági fogyasztókhoz becsatlakozó 0,4 kV-os kiefeszültségű elosztóhálózat (KIF) [4, 5].

Megjegyzendő, hogy habár a 120 kV-os hálózat is nagyfeszültségű, topológiai kialakítása és üzemeltetése eltérő, ezért elkülönült neve főelosztó hálózat. E hálózattípus megkülönböztetése azért is lényeges, mert Magyarországon – összhangban az európai országok gyakorlatával – az átviteli és az elosztóhálózatok tulajdonosa és üzemeltetője eltérő.

A NAF átviteli hálózatok tulajdonosa a Magyar Villamos Művek ZRt. (MVM). Az MVM tulajdonában áll, bár speciális helyzeténél fogva nem része az úgynevezett „Elismert Vállalatcsoport”-nak, a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság, azaz a MAVIR. A MAVIR a Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal (MEKH) által kibocsájtott átviteli rendszerirányítói működési engedély (Transmission System Operator, TSO) alapján felügyeli és gyarapítja a hálózati vagyont, elvégzi a megfelelő, üzembiztos ellátáshoz szükséges felújításokat, karbantartásokat és fejlesztéseket, összehangolja a magyar villamosenergia-rendszer működését a szomszédos hálózatokkal, koordinálja a nemzetközi szakmai együttműködéseket, elkészíti a hálózatfejlesztési stratégiát.

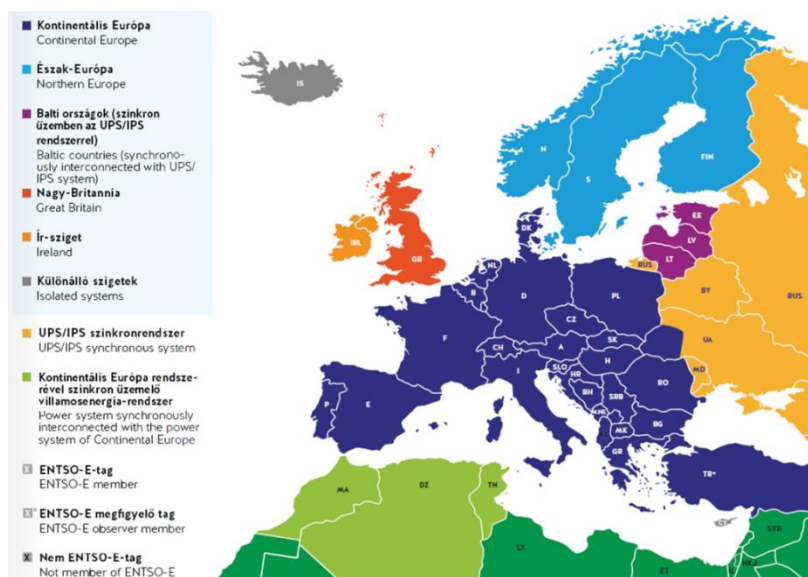
¹Átviteli hálózat: a villamos energia átvitelére szolgáló vezetékrendszer – beleértve a tartószerkezeteket és a határkeresztező vezetéseket is – a hozzá tartozó átalakító és kapcsolóberendezésekkel együtt [6].

²Elosztóhálózat: a villamos energia elosztása és a csatlakozó pontra való eljuttatása céljára szolgáló vezetékrendszer – beleértve a tartószerkezeteket is – a hozzá tartozó átalakító és kapcsolóberendezésekkel együtt [7].



1. ábra A magyar átviteli hálózat, 2016. 11. 11-én aktuális állapot [8]

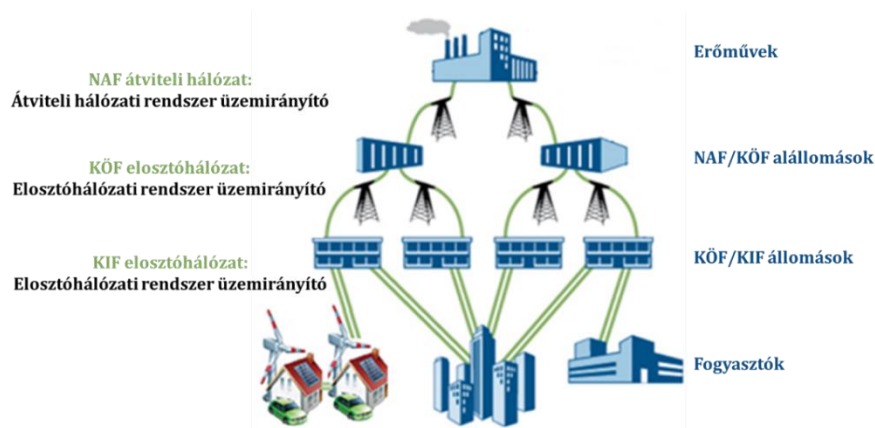
Az 1. ábra szemlélteti a MAVIR átviteli hálózatának belső és nemzetközi kapcsolatait. Látható, hogy a magyar villamosenergia-rendszer nem önmagában – úgynevezett szigetüzemben – üzemel, hanem az Európai Villamosenergiarendszer-irányítók Szövetségének (European Network of Transmission System Operators, ENTSO-E) tagjaként egy kiterjedt rendszer részeként. Az ENTSO-E, illetve az európai villamosenergia-rendszer felépítését a 2. ábra szemlélteti:



2. ábra Villamosenergia-rendszerek Európában [9]

A villamosenergia-rendszer hierarchikus felépítésének megfelelően hierarchikus felépítésű annak irányításszervezeti rendszere is. A hierarchia csúcsán a NAF átviteli hálózat irányítója, a TSO helyezkedik el. Ez alatt kapnak helyet az elosztóhálózati engedélyesek (Distribution System Operator, DSO). A DSO-k a NAF fő elosztóhálózat (továbbiakban: fő elosztóhálózat),

a KÖF-elosztóhálózat és a KIF-elosztóhálózat irányítói, üzemeltetői. A rendszer felépítését szemlélteti a 3. ábra:



3. ábra A villamosenergia-rendszer hierarchikus felépítése [10]

A villamosenergia-rendszer hierarchikus felépítését szemléltető ábrán megjelennek a feszültségszintek közötti transzformációs kapcsolatok, az úgynevezett alállomások, vagy állomások. A feszültségszintek közötti feszültségváltást a transzformátor végzi. A transzformátorok önmagukban azonban ritkán kerülnek elhelyezésre, hanem a leágazásokat összefogó, csomópontképző gyűjtősín és a leágazásokba be-kikapcsolást végző készülékek kerülnek beépítésre, így a különböző tervezett és nem tervezett események következtében a szükséges beavatkozásokat, kapcsolásokat, áramutakat kijelölni képes, a berendezések különböző védelmi funkcióit ellátó, komplex helyi rendszer részeként kerülnek telepítésre. A NAF/NAF-, NAF/fő-elosztóhálózati, NAF/KÖF-rendszereket alállomásoknak, míg a KÖF/KIF-rendszereket transzformátorállomásoknak, vagy KÖF/KIF-állomásoknak, vagy TR-állomásoknak nevezik [11].

A TSO-k hatáskörébe tartoznak a NAF kábel- és szabadvezeték-hálózat elemei, a NAF/NAF-alállomások és a NAF/fő elosztóállomások egyes elemei. A DSO-k felelnek a NAF/főelosztó-alállomások bizonyos részeiért, a fő elosztóhálózat elemeiért (mind a kábel-, mind a szabadvezeték-hálózat), a NAF/KÖF-alállomásokért, a KÖF/KÖF-állomásokért, a KÖF kábel- és szabadvezeték-hálózat elemeiért, a KÖF/KIF-állomások és a KIF kábel- és szabadvezeték-hálózat elemeiért.

Míg a TSO hálózatán egy-egy villamos kapcsolat akár országgrészméretű is lehet (lásd: 1. ábra), addig a DSO hálózati kapcsolatai – a villamos energia lokális elosztásának megfelelően – kisebb kiterjedésűek. Ebből adódik, hogy a TSO hálózata egy ritkább, de

nagyobb távolságokat átívelő rendszer, míg a DSO-é egy lényegesen sűrűbb, de rövidebb kapcsolatokat megvalósító hálózat. A TSO a villamos energiát a NAF átviteli hálózatán országok, tájegységek között, a DSO jellemzően a fő elosztóhálózatán városrészek vagy nagyvárosok között, a KÖF hálózatán az egyes kerületek, kisvárosok, falvak között, míg a KIF hálózatán utcáról utcára, kapuról kapura szállítja. A TSO (Táblázat 1.) és DSO (Táblázat 2.) hálózatainak méretét foglalja össze az alábbi két táblázat:

	2012	2013	2014	2015	2016
	km	km	km	km	km
NAF-szabadvezeték és kábelvezeték összesen	3 804	3 810	3 810	3 810	3 810
NAF-szabadvezeték összesen	3 787	3 793	3 793	3 793	3 793
750 kV szabadvezeték	268	268	268	268	268
400 kV szabadvezeték	2 282	2 284	2 284	2 284	2 284
220 kV szabadvezeték	1 097	1 099	1 099	1 099	1 099
132 kV szabadvezeték	141	142	142	142	142
NAF-kábelvezeték (132 kV) összesen	17	17	17	17	17

Táblázat 1. Átviteli hálózat nyomvonalhossza 2012–2016 [12]

	2012	2013	2014	2015	2016
	km	km	km	km	km
Szabad- és kábelvezeték összesen	160 239	160 162	160 645	161 153	161 634
szabadvezeték	124 713	124 475	124 601	124 741	124 877
kábelvezeték	35 526	35 688	36 044	36 412	36 757
Fő elosztóhálózati szabadvezeték és kábelvezeték összesen	6 261	6 304	6 324	6 372	6 356
KÖF-szabad- és kábelvezeték összesen	67 178	67 280	67 420	67 588	67 811
KÖF-szabadvezeték	53 962	53 969	53 952	53 971	54 064
KÖF-kábelvezeték	13 216	13 311	13 468	13 617	13 747
KIF-szabad- és kábelvezeték összesen	86 800	86 579	86 901	87 194	87 467
KIF-szabadvezeték	64 611	64 330	64 453	64 527	64 586
KIF-kábelvezeték	22 189	22 249	22 449	22 667	22 882

Táblázat 2. Elosztóhálózat nyomvonalhossza 2012–2016 [12]

A két táblázat adataiból leolvasható, hogy a DSO elosztóhálózatának hossza több mint 40-szer akkora, mint a TSO átviteli hálózatának hossza. A táblázatokból az is leolvasható, hogy a DSO-k legkiterjedtebb hálózata a KIF-hálózat (87 467 km), ezt követi a KÖF-hálózat (67 811 km) majd a NAF-hálózat (3810 km). Megjegyzendő, hogy a magyarországi DSO-k hálózata 3,87-szor hosszabb az Egyenlítőnél.

Az egymásra hierarchikusan épülő rendszerek következtében (lásd: 3. ábra) a Táblázat 1. és Táblázat 2. adatsoraiból levonható az a következtetés, hogy a TSO számára lényegesen több végfelhasználó-kieséssel járhat egy üzemzavar.

A NAF-, KÖF- és KIF-rendszerek közötti különbséget jól mutatja, hogy míg KIF-hálózaton – a különböző ideiglenes megoldásokat is figyelembe véve – nem fordulhat elő, hogy órákra szolgáltatás nélkül maradjon több mint 1000 fogyasztó, addig egy 2003-as olaszországi NAF-üzemzavar miatt 56 millió ember maradt villamosenergia-szolgáltatás nélkül [13, 14]. Ennek megfelelően a hálózatok topológiai felépítése, a hálózatok üzemeltetésének módja, az üzemirányítás³ támogatottsága és a beépített távjelző és távbeavatkozó berendezések mértéke az egyes üzemirányítási szinteken igen különböző. Általánosságban kijelenthető, hogy az átviteli hálózatok a legmagasabb technológiai támogatással rendelkeznek, a KÖF-hálózaton már vannak olyan berendezések, melyek távjelzésre és távműködtetésre alkalmasak, míg a KIF-hálózaton ilyen jellegű támogatás ma még nincs (bővebben lásd: 2. fejezet). A vállalatok fejlesztési és beruházási döntési folyamatait arra optimalizálják, hogy legkisebb gazdasági ráfordítással a legmagasabb ellátásbiztonsági, azaz hálózatminőségbeli javulást érhessék el. Ebből következik, hogy a műszaki fejlesztések fókuszosa a különböző feszültségszintek között változhat a műszakilag és gazdaságilag hatékonyan alkalmazható technológiák hasznossági határának elérésével [15].

Az elérhető legkisebb beruházással a legmagasabb hálózatminőségi javulást elérendő a vállalatoknak folyamatosan keresniük, vizsgálniuk és alkalmazniuk szükséges a tudományos és technológiai innovációkat, eredményeket. E törekvésben a DSO-k számára külön nyomást jelent, hogy az elosztói engedélyesek hálózatfejlesztési beruházásait a MEKH is kiemelten igyekszik ösztönözni. Ehhez a MEKH egyik kiemelt eszköze a nemzetközileg is használatos

³ Az üzemirányítás fogalma: Az üzemirányítás a hálózatok üzemállapota feletti rendelkezés és a rendszer felügyelete. A teljes üzemirányítási tevékenység magában foglalja az üzem-előkészítést, az operatív üzemirányítást és az üzemértékelés részfolyamatait.

minőségi mutatók rendszere, melyen keresztül monitorozza és benchmarkingolja⁴ a DSO-k hálózatát.

1.1 A minőségi mutatók rendszere

„A MEKH a gazdasági ösztönzésének alapját a villamosenergia-ellátás hosszú idejű⁵ nem tervezett megszakadásainak átlagos gyakoriságára és időtartamára, valamint a nem szolgáltatott villamos energiának a rendelkezésre álló villamos energiára vonatkoztatott hányadosát képező kiesési mutatóra vonatkozó minimális minőségi követelmények képezik.

A VET alapján a MEKH-nek lehetősége van határozatban megállapítani az engedélyesek tevékenységének minimális minőségi követelményeit és elvárt színvonalát, amelyek – a szélsőséges időjárás hatásának ellensúlyozása érdekében – hároméves átlagok alapján kerültek meghatározásra, lehetőséget hagyva az engedélyesek felelősségén kívül eső kivételek kezelésére.

A MEKH határozatában a villamosenergia-elosztói engedélyesek által nyújtandó szolgáltatási színvonal gazdasági ösztönzésének alapját képező nemzetközileg elfogadott mutatókra meghatározott minimális minőségi követelményeken kívül további három elvárt színvonalmutató tekintetében is évenkénti százalékos mértékben meghatározott javulást írt elő.” [16 p. 34] A nemzetközileg is elfogadott két mutató tekintetében az elvárt színvonal teljesülésének hiányában a MEKH bírság kiszabására jogosult. Megjegyzendő, hogy a DSO-k igen jelentős törekvéseinek eredményeként bírság kiszabására ez idáig még nem történt precedens, a szankcionált mutatók minden évben a büntetési szint alatt maradtak. Nemzetközi összehasonlításban pedig megjegyzendő, hogy a kiesési mutatók tekintetében a magyarországi adatok évek óta a középmezőnyben vannak [16].

⁴A benchmarking egy folyamat, mely során a vállalat különböző eredményeit összevetik egy vagy több más vállalat hasonló jellemzőivel annak érdekében, hogy fény derüljön a racionalitási, valamint minőség- és teljesítménynövelési lehetőségekre.

⁵Hosszú idejű zavartatás: A 3 percnél hosszabb idejű kimaradást tartós kimaradásnak kell tekinteni. Rövid idejű zavartatás: Rövid idejű kimaradásnak kell tekinteni, ha a tápfeszültség a megegyezéssel szembe fordított feszültség 5%-a alá csökken, és ez az állapot a 3 percet nem haladja meg [17].

1.1.1 A villamosenergia-ellátás folytonosságának mutatói (nem szankcionált mutatók)

1. „Az érintett fogyasztók hosszú idejű ellátásmegszakadásának (zavartatásának) átlagos időtartama: a hosszú idejű (3 percnél hosszabb) ellátáskimaradások átlagos időtartama az összes érintett fogyasztóra vonatkoztatva (perc/érintett fogyasztószám/év).” [18 p. 5 (3.1, A3)]
2. „Ellátáshelyreállítás nem tervezett ellátásmegszakadás esetén: A hálózat üzemének nem tervezett ellátásmegszakadás esetén 3 órán, ill. 18 órán belül visszakapcsolt fogyasztók %-a.” [18 p. 5 (3.1, A4)]
3. „Ellátáshelyreállítás tervezett ellátásmegszakadás esetén: A hálózat üzemének tervezett ellátásmegszakadás esetén 6 órán, ill. 12 órán belül visszakapcsolt fogyasztók %-a.” [18 p. 5 (3.1, A5)]
4. „A rövid idejű villamosenergia-ellátás megszakadásának átlagos gyakorisága: A 3 percnél rövidebb (pillanatnyi és átmeneti) szolgáltatáskimaradások átlagos száma az összes fogyasztóra vonatkoztatva (db/fogyasztószám/év).” [18 p. 5 (3.1, A6)]
5. „A legrosszabbul ellátott fogyasztók: a középfeszültségű és az ezen keresztül ellátott kiefeszültségű érintett fogyasztók száma és aránya az összes fogyasztó %-ában.
 - a. a 3 óránál hosszabb hosszú idejű ellátás nem tervezett megszakítás időtartama,
 - b. a 6 darabnál több hosszú idejű ellátás nem tervezett megszakítás gyakorisága,
 - c. a 30 db-nál több rövid idejű megszakítás ” [18 p. 5 (3.1, A7)]

1.1.2 A villamosenergia-ellátás folytonosságának mutatói (szankcionált mutatók)

1. A villamosenergia-ellátás hosszú idejű megszakadásának átlagos gyakorisága: a hosszú idejű (3 percnél hosszabb) ellátáskimaradások évi átlagos száma az összes fogyasztóra vonatkoztatva. A mutató a hazai szakirodalomban MEH 1 mutatóként, míg nemzetközi környezetben (System Average Interruption Frequency Index) SAIFI mutatóként ismert [19]. A SAIFI mutató számítási metódusa matematikai formában:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{N_T} \quad (1)$$

ahol n az üzemzavarok száma, N_i adott i üzemzavarban érintett fogyasztók száma és N_T a T ellátási területen a fogyasztók összesített darabszáma [19].

2. A hosszú idejű villamosenergiaellátás-megszakadás átlagos időtartama: a hosszú idejű (3 percnél hosszabb) ellátáskimaradások átlagos időtartama az összes fogyasztóra

vonatközvetve. A mutató a hazai szakirodalomban MEH 2 mutatóként, nemzetközi környezetben (System Average Interruption Duration Index) SAIDI mutatóként ismert [19]. A SAIDI mutató számítási módszere matematikai formában:

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i * N_i)}{N_T} [\text{perc}] \quad (2)$$

ahol n az üzemzavarok száma, U_i adott i meghibásodás okozta szolgáltatáskimaradás összegzett ideje (perc), N_i az érintett fogyasztók száma és N_T a T ellátási területen a fogyasztók összesített darabszáma [19].

A minőségi mutatókat a MEKH elvárásainak megfelelően adott évre számítják ki. A mutatók számításához használatos ügyfélszám (N_T) adott DSO-ra meghatározott érték, mely az elosztói engedéllyessel szerződéses kapcsolatban álló felhasználók számát jelenti a vizsgált év december 31-i állapota szerint. Dimenziója: darab [18].

A SAIDI számítási módszerének egyik tényezője az i szolgáltatás megszakadásával járó meghibásodás (továbbiakban: üzemzavar) időintervalluma. Adott i üzemzavar időintervallumának kezdete a hiba tudomásra jutásának időpontja az áramszolgáltatónál. i üzemzavar vége a fogyasztónál a villamosenergia-szolgáltatás helyreállításának időpontja. A hibaérzékelés távjelző berendezéseken keresztül, vagy ennek hiányában a fogyasztói hibacím-bejelentés⁶ formájában történhet [20].

A SAIDI és SAIFI hálózatminőségi mutatók további tényezője az i üzemzavarban érintett fogyasztók, felhasználók⁷ darabszáma (N_i). Adott i üzemzavar által érintett fogyasztók számát a meghibásodott berendezés alapján, a hálózati nyilvántartási rendszer adataira támaszkodva tudja megadni az engedélyes [21].

⁶Hibacím-bejelentés: A megkeresések azon típusa, amikor a felhasználó az áramszolgáltatás kimaradásáról szándékozik tájékoztatni az elosztói engedélyest, vagy a szolgáltatás visszaállításának várható időpontja felől szándékozik tájékoztatást kérni.

⁷Felhasználó: A villamos energiát saját felhasználás céljára közcélú hálózaton vagy a VET szerint engedélyköteles magánvezetéken keresztül vételező személy.

1.1.3 Az elvárt adatmegbízhatóság

Minden adatszolgáltatással kapcsolatban elvárt adatminőségről a Magyar Energia Hivatal 24/2007 sz. határozatának C melléklete az alábbiakban rendelkezik:

„Az értékek kiszámítása, ahol erre az informatikai rendszer fejlettsége alapján lehetőség van, ezen rendszer pontos naprakész adataiból történjen. Ezen adatok megfelelőségével kapcsolatban elvárás az általános minőségbiztosítási eljárások megléte, az adatok és adatforrások utólagos ellenőrizhetőségének biztosítása. Az adatok abban az esetben minősülnek megfelelőnek, ha adatainak pontossága elemenként jobb, mint 98%-os. [...]

Az adatok keletkezés szerint lehetnek:

1. Alapadatok: döntően az események kezdeti és vég időpontjai, események megnevezései
2. Származtatott adatok: időtartamok, darabszámok, %-ok, stb.

Az esemény (például üzemzavar) az adatgyűjtés és feldolgozás szempontjából megfelelő vagy nem megfelelő lehet. Egy-egy eseményhez több adat is tartozhat, ezért az esemény adatgyűjtés szempontú minősítését a hozzá kapcsolható alapadatok minősítésén keresztül kell elvégezni. Megfelelő az esemény, ha a hozzá tartozó alapadatok mindegyike a dokumentumokból, bizonylatokból, vagy más módon meghatározható valós adatokat tartalmazza. Nem megfelelő az adatszolgáltatás, ha ismételt mintavételre került sor, és az összesen vizsgált 10 eseményből legalább kettő adatai nem valósak voltak.

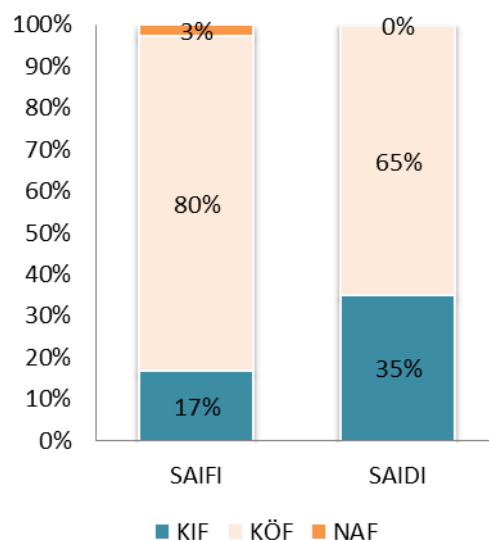
Téves vagy hibás adatközlés esetén a MEKH bírságot szabhat ki. A bírság mértéke: hibás, utóellenőrzés alapján módosított adat esetén hibás adatonként: 500 000 Ft, bármilyen hibás adatközlés Hivatali felderítésű módosítása esetén adatonként 2 500 000 Ft”. [22 pp. 1–2]

Ezen rendelet alapján kijelenthető, hogy az adatok minősége kiemelt jelentőséggel bír.

1.2 A kutatás területének kijelölése

Kutatási területként az elosztóhálózatot, azon belül a KIF-elosztóhálózatot jelöltem ki. Az elosztóhálózat kiválasztásának oka, hogy a 2016-os adatok alapján (melynek adatai jól illeszkednek a korábbi évek adatainak trendjébe) az átviteli hálózati meghibásodások miatt 10,9 MWh villamos energia esett ki, míg az elosztóhálózaton 6275 MWh. (Jelen disszertáció az erőművi kérdések körére nem tér ki, de megjegyzendő, hogy az erőművi meghibásodások okozta kiesés 2010–2016 években összesen: 0 MWh) [12 p. 69].

A KIF-hálózat kiválasztásánál alapvető szempont a bekövetkezett üzemzavari események száma volt. Magyarország második legnagyobb áramszolgáltató vállalata, az ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. területén 2014. 01. 01. és 2017. 12. 31. között a KIF-hálózaton 146 888, a KÖF-hálózaton 6525, míg a NAF-hálózaton 9 szolgáltatáskieséssel járó üzemzavar volt (bővebben lásd.: *1. melléklet*) Ezen üzemzavari események hatását mutatja be a szankcionált mutatókra a *4. ábra*:



4. ábra Az ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. területén 2014. 01. 01. és 2017. 12. 31. között bekövetkezett KIF-, KÖF- és NAF-üzemzavarok hatásának aránya a SAIDI és SAIFI mutatókra (saját ábra)

A *4. ábra* jól mutatja, hogy a KÖF-üzemzavarok hatása nagyságrendileg nagyobb a mutatókra, azonban a SAIDI esetében még így is 35% a KIF-üzemzavarok aránya. Ez összefüggéseiben azt jelenti, hogy egy KIF-üzemzavar esetén az érintett fogyasztók száma lényegesen alacsonyabb, azonban arányaiban lényegesen több KIF-üzemzavar keletkezik, mint KÖF vagy

NAF. Azaz a vizsgált időintervallumban a KIF-üzemzavarok száma 22,51-szorosa volt a KÖF-üzemzavarokénak.

A szankcionálásokat tekintve indokoltnak láttam annak vizsgálatát is, hogy a szigorú adatmegbízhatósági követelményeknek való megfelelés érdekében milyen új tudományos módszerek bevezetésével lehet támogatni a legnagyobb számban előforduló KIF-üzemzavari események adminisztrációját. Tekintettel arra, hogy a kiesés időtartama (U_i) jól definiált, egzakt érték (lásd 2.2 *fejezet*), így az üzemzavarban érintett fogyasztók számának (N_i) meghatározására kívántam új módszert kidolgozni.

2 A kutatómunka tudományos előzményei a szakirodalomban

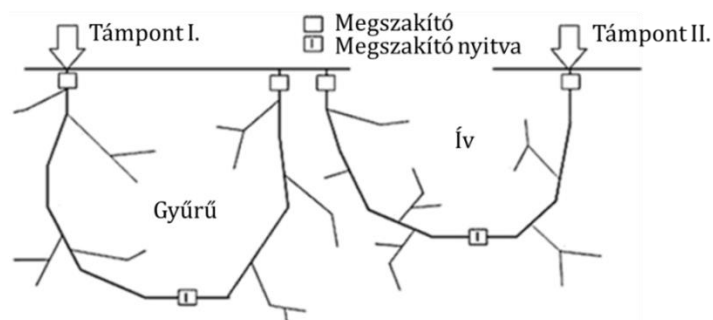
Az alábbi fejezetben a villamosenergia-szolgáltatás minőségének javítása érdekében folytatott legfontosabb magyarországi és nemzetközi kutatások és fejlesztések kerülnek áttekintésre. Az e témakörben végzett irodalom kutatást 2019.07.01.-én zártam le.

A fejlesztések a NAF-, KÖF- és KIF-hálózatok eltérő tulajdonságai miatt igen különbözőek, ezért először a hálózatok topológiai felépítése kerül ismertetésre.

2.1 A NAF-, KÖF- és KIF-hálózatok topológiai felépítése

Általánosságban kijelenthető, hogy a NAF-hálózatok kiépítése és üzemeltetése hurkolt⁸ (lásd: 1. ábra), a KÖF-hálózat íves-⁹gyűrűs¹⁰ kiépítésű és sugarasan üzemeltetett, míg a KIF-hálózat csupán elvétve tartalmaz kiépítésében gyűrűket vagy íveket, azaz sugaras kialakítású és sugarasan üzemeltetett.

A KÖF-hálózat íves-gyűrűs kiépítettségére mutat példát az 5. ábra:



5. ábra Íves és gyűrűs hálózatok szemléltetése [10]

Az 5. ábra bal oldalán látható kapcsolókészülék nyitott állapota (tehát a gyűrű közepén elhelyezett, az áramkört bontó kapcsolókészülék állapota) eredményeként a táppontok nem kerülnek villamos összeköttetésbe. A hurkolt és sugaras üzemeltetés között ez, a táppontok

⁸ Hurkolt hálózat: „olyan vezetékrendszer, amelyben üzemszerűen több zárt kör van, a vezetékek a csomópontokban többszörösen kapcsolódnak egymással, és így az áram az egyes csomópontoknál elhelyezett felhasználókhöz több oldalról különféle utakon juthat el. A hurkolt hálózatot egy vagy több táppontból lehet táplálni.” [23 p.]

⁹ Íves hálózat: „az a fővezetékéből és ezek szárnyvezetékeiből álló hálózat, melynek fővezetékei két különböző táppontba csatlakoznak, egy hosszanti üzemszerű bontási hellyel rendelkeznek, és sugarasan üzemelnek.” [23 p.]

¹⁰ Gyűrűs hálózat: „az a fővezetékéből és ezek szárnyvezetékeiből álló hálózat, melynek fővezetékei egy táppontból indulnak ki, és ugyanoda futnak vissza. Egy hosszanti üzemszerű bontási helyet tartalmaznak, és sugarasan üzemelnek.” [23 p.]

közötti folyamatos villamos kapcsolat megléte vagy hiánya az alapvető különbség. Nyitott megszakító esetén a hálózat topológiája sugaras, zárt megszakító esetén hurkoltan üzemeltetett.

A NAF-hálózat hurkolt felépítésű és üzemeltetésű, aminek legfőbb előnye, hogy megvalósítható az $n-1$ elv. Az $n-1$ elv azt jelenti, hogy az n hálózati elem bármely hálózati elemét érintő egyszeres meghibásodás esetén még nem következik be nem tervezett üzemszünet a fogyasztói szolgáltatásban, azaz az átvitelhez $n-1$ elem elegendő [23]. Ez a kiépítés nagyban hozzájárult az *1.3 fejezetben* ismertetett NAF-szolgáltatáskiesés kedvező kiesési adataihoz. Megjegyzendő, hogy mivel a rendszerbe redundancia került beépítésre, ezért a beruházás költsége lényegesen nagyobb. A NAF-hálózaton ezt a *Táblázat 1.-ben* és *Táblázat 2.-ben* közölt hálózati hosszadatok miatt lehetett megtenni, figyelembe véve az *1.1 fejezetben* közölt egy üzemszünettel járó meghibásodás által érintett fogyasztói számot.

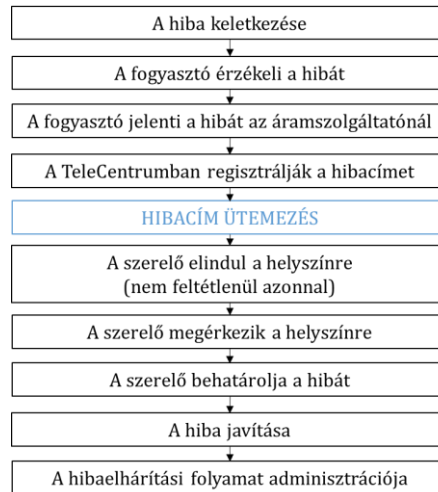
A KÖF-hálózat táppontjai a főelosztó/KÖF-alállomások. A fő elosztóhálózat hurkolt üzemeltetésű, tehát az alállomások egymással folyamatos villamos kapcsolatban vannak. A KÖF-hálózat hurkolt üzemeltetésével úgynevezett aláhurkolásokat képeznénk. Ilyen aláhurkolások a NAF/fő elosztóhálózaton megjelennek. Ezért a feszültségszintek úgy kerülnek meghatározásra, hogy a feszültségkiegyenlítésre meginduló, úgynevezett kiegyenlítő áramok ne okozzanak veszteségeket. A fő elosztóhálózat KÖF által történő aláhurkolása esetében erre nincs lehetőség. A kiegyenlítő áramok minden esetben hálózati veszteségeket indukálnának, így a hurkolt üzemeltetés nem gazdaságos [18]. A KÖF-hálózaton az egy üzemzavar által érintett fogyasztószám – figyelembe véve a hálózat hosszát – nem teszi sem gazdaságossá, sem műszakilag indokolttá hurkolt hálózat kiépítését és az $n-1$ elv alkalmazását. Ennélfogva a KÖF-hálózaton egy egyszeres meghibásodás fogyasztói kiesést okoz.

A KIF-hálózat kiépítése és üzemeltetése a KÖF-hálózatéval – szigorúan és kizárólag csak ebből a szempontból – azonos, azzal a kitéttel, hogy az ívek és gyűrűk száma lényegesen kisebb. A topológiából, valamint a hálózatok térbeli kiterjedtségéből és hosszából adódik, hogy a KÖF- és KIF-hálózatokon naponta akár több száz fogyasztói kieséssel járó üzemzavar is keletkezhet, melyek időbeni lefolyását és fogyasztói érintettségét minimalizálni szükséges.

Kutatásom a KIF-hálózatokra irányul, így a továbbiakban ezen hálózattípus számára releváns itthoni és nemzetközi fejlesztési irányok kerülnek bemutatásra.

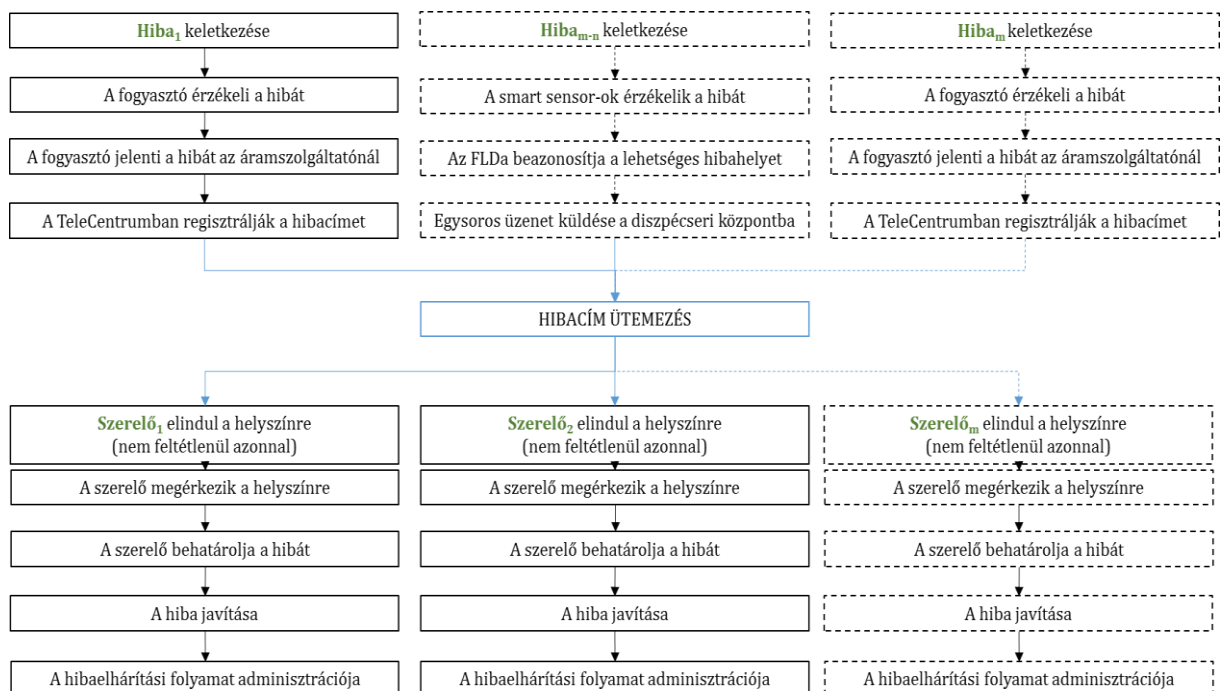
2.2 A KIF-üzemzavarok elhárítása: a KIF-hibacímütemező-rendszer

A KIF-hálózaton történő üzemzavar-elhárítással foglalkozik kutatásaiban Dr. Pálfi Judith. Pálfi *Big Data módszerek alkalmazása az áramszolgáltatásban* című munkájában feltérképezi a KIF-üzemzavar-elhárítás folyamatát:



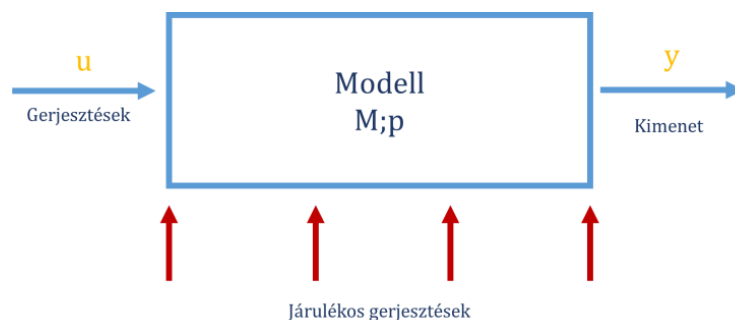
6. ábra A jelenlegi KIF villamos elosztóhálózati hibaelhárítás folyamata [10]

A 6. ábrán egy hiba elhárítási folyamata került bemutatásra, keletkezésétől a javításon át a folyamat végéig, azaz az adminisztrációig. A folyamatban megjelenik a hibacím ütemezése: a hibacímek beérkezésük után egy prioritizálási, optimalizációs folyamaton esnek át, majd kiadásra kerülnek az elhárító szerelők részére. A folyamat m darabszámú hiba és szerelőcsapat esetén az alábbi:



7. ábra A jelenlegi KIF-elosztóhálózati hibaelhárítás folyamatának m hibacímre és m szerelőcsapatra történő kiterjesztése [10]

Pálfí az általa bevezetett hibaütemező rendszert (6. ábra és 7. ábra, „HIBA ÜTEMEZÉS”) LFS (kisfeszültségű hibaütemező, Low-voltage Fault Schedule) rendszernek nevezi, értelmezését rendszerelméleti módon közelíti meg: „A hibaütemező rendszer egy mérnöki rendszer, amely egy egyszerűsített matematikai modellel írható le. A modellre a rendszerelméletet alkalmazom, és ennek segítségével szemléltetem a rendszerben lejátszódó folyamatokat leíró egyenleteket, amely figyelembe veszi a kezdeti és peremfeltételeket (8. ábra) [25, 26].



8. ábra Egyszerűsített általános matematikai modell egy mérnöki probléma megoldására [10]
 u – input gerjesztések, M – modell, p – a modell paraméterei, y – kimenet

Az LFS matematikai modelljét a 9. ábra mutatja be:



9. ábra A javasolt kisfeszültségű hibacím-ütemező-rendszer (LFS) egyszerűsített matematikai modellje [10]

A 9. ábrán bemutatott LFS rendszer egyik bemenete a KIF-hibacímek paraméterezett mátrixa (\mathbf{H}). E mátrix sorai az egyes hibacímeket, míg oszlopai az adott hibához tartozó, Pálfí által bevezetett k paramétereket tartalmazzák. Ilyen paraméterek lehetnek például a hibacím földrajzi elhelyezkedése, a hiba magas prioritása vagy a kiesett fogyasztók száma.

A rendszer másik bemenetét a szerelőcsapatok paraméterezett mátrixa (\mathbf{B}) képezi. A \mathbf{B} mátrix sorai az egyes szerelőcsapatokat, míg oszlopai az adott szerelőcsapat k paramétereit

tartalmazzák. Ilyen k paraméter lehet a szerelőcsapat földrajzi elhelyezkedése, a szerelőcsapat létszáma [27], a szerelők képezései és helyismereti vizsgái [28], továbbá a rendelkezésre álló eszközök [29].

Az LFS rendszermodell kimenete az ütemezés dinamikus eredménymátrixa (**E**). Az **E** mátrix sorai a szerelőcsapatokat, oszlopainak elemei pedig a számukra kiosztott KIF-üzemzavarokat tartalmazzák. Pálfi összegző definíciója alapján „Az LFS rendszer feladata az egyes hibacímek eredménymátrixba történő kihelyezése és az optimális hibacím-ütemezés kialakítása.” [10 p. 75]

Az egyidejűleg előforduló, egymástól függetlenül keletkező KIF villamos elosztóhálózati hibák jellege igen eltérő lehet. Egyes hibákban a használati melegvízellátáshoz szükséges áramellátásban keletkezik kimaradás (ami a vezérelt villamos energia¹¹ berendezéseinek meghibásodására utal) [30], míg más hibák esetében akár több utcában, esetleg kiemelt épületek, kórházak is áramszolgáltatás nélkül maradhatnak [31]. Emiatt fontos, hogy a hibák a kiosztás előtt rangsorolva legyenek [32].

Pálfi feltérképezte a jelenlegi rangsorolási rendszert, majd azt alapul véve meghatározta és bevezette a hibacímek β rangsorolássúlyozási rendszerét. E rendszer célja egy hatékonyabb hibacím kiosztási folyamat létrehozása. Új rendszerében

β_1 : élet- és balesetveszély;

β_2 : magas prioritású cím (pl. kórház);

β_3 : magas fogyasztói számot érintő üzemzavar;

β_4 : kis fogyasztói számot érintő üzemzavar;

β_5 : egy fogyasztót érintő üzemzavar.

A hibák súlyfüggvénye ez alapján:

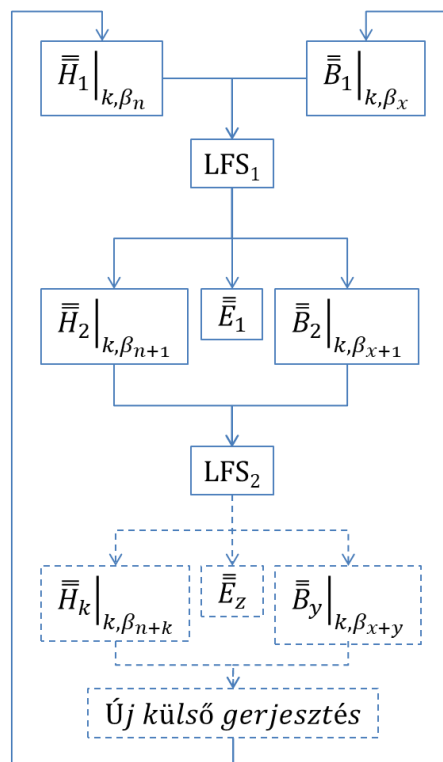
$$\sum_{j=1}^n \beta_j * T_j \quad (3)$$

ahol β_j – a hibarangsorolás súlya, T_j – a j hibacím optimális kiosztása esetén a j hiba elhárítási folyamatának ideje.

¹¹ A vezérelt villamos energia alapelve, hogy a fogyasztó vállalja, hogy bizonyos berendezései csak meghatározott időszakokban kapnak áramot, cserébe ahhoz lényegesen olcsóbb áron juthat hozzá. Ennek fontos feltétele, hogy a vezérelt áram csak rögzített bekötésű eszközökhöz vehető igénybe [33].

Az LFS rendszerben tehát miután minden β_1 cím kiosztásra kerül (valamennyi k paraméter figyelembevételével), a β_2 rangú címeket a szabad kapacitású szerelőegységek fogják megkapni. Miután valamennyi β_3 rangú cím kiosztásra került, a β_4 rangsorolású hibacím kerül kiosztásra és így tovább. Az ütemezés annyiszor fog lefutni, ahány rangú cím van a rendszerben.

Pálfi az általa bevezetett új hibalokációs eljárás és paraméterek felhasználásával egy hatékonyabb ütemezési eljárás bevezetésére tett javaslatot, melyet a 10. ábra mutat be:



10. ábra A Pálfi által bevezetett LFS rendszer folyamatábrája [10]

Az általa javasolt ütemezőrendszerben egyrészt az általa fejlesztett FLDa (hibalokalizációt meghatározó algoritmus, Fault Location Determination Algorithm, FLDa) eredményeként kapott hibacímek, másrészt a TeleCentrumon¹² keresztül a munkairányítási rendszerbe beérkezett hibacímek együttesen alkotják a H_k mátrixot ($k = 1 \dots n$), míg az éppen műszakban vagy ügyeletben lévő szerelők alkotják a B_y mátrixot ($y = 1 \dots m$). A hibacím-ütemezőbe (LFS₁) először a rendszerben lévő legmagasabb (numerikusan a legalacsonyabb) β rangsorolású hibacímek fognak bekerülni. Ezután megjelennek az e címekhez tartozó k

¹²TeleCentrum: telefonos ügyfélszolgálat az ELMŰ-ÉMÁSZ Ügyfélszolgálati Kft. megnevezésében.

paraméterigények, így az LFS lefutásakor B_1 csak azokat a szerelőket fogja tartalmazni, melyek a β_l rangsorolású hibacímek k paraméterigényeit ki tudják elégíteni.

Az LFS₁ lefutásának eredményeként megjelenik az E_1 mátrix. Ez az eredménymátrix azonban nem feltétlenül fogja valamennyi hibát magában foglalni, mert előfordulhat, hogy lesz olyan k paraméterigény, melyet csak úgy lehet kielégíteni, ha az egyik címen levő hibaelhárítást valamelyik szerelőcsapat már befejezte. Például előfordulhat, hogy 3 olyan cím is van az ütemezőrendszerben, ahol oszlopra kell mászni, de csak két olyan szerelő érhető el, akinek ehhez megfelelő jogosultsága van. Ezen címek (ahol a k paraméterigény nem elégíthető ki azonnal) várakozó státuszúak lesznek (ezek szükség esetén manuális beavatkozással kiütemezhetők).

A várakozó státuszba kényszerülő címeken kívül a címet nem kapó szerelők (B_2) és az alacsonyabb β rangsorolású címek (H_2) is a rendszerben maradnak. A LFS₂ ezen bemeneti adatokkal fog lefutni.

Ez a ciklikus folyamat addig ismétlődik, míg magasabb β rangsorolású – azaz alacsonyabb prioritású – cím már nincs a rendszerben. Ekkor a folyamat új külső gerjesztésig várakozó állásponton lesz. Külső gerjesztés jelen esetben a felszabaduló szerelőcsapat vagy egy újabb hibabejelentés lehet. Új külső gerjesztés esetén a folyamat újraindul a 30. ábrának megfelelően.

Pálfi Judit munkájában javaslatot tesz olyan eszközök integrálására, melyek a hibaérzékelést és a hibalokalizációt támogatják. Ezen eszközök rendszerelméleti integrációjára is javaslatot tesz. Munkája azonban táv- vagy automatikus beavatkozásra alkalmas eszközök vizsgálatára, rendszerszintű integrációjára nem tér ki, ennek lehetőségét nem vizsgálja [10].

2.3 Táv- és automatikus beavatkozásra alkalmas eszközök alkalmazása az üzemzavar-elhárításban

Morva György *Villamosenergetika* című könyvének *Hálózati automatikák* fejezetében általánosan ismerteti azon eszközök elméletét, amelyek a KÖF- és NAF-hálózaton ma már támogatják az üzem folytonosságát. Ilyen eszközök az ún. átkapcsolóautomatikák. „Átkapcsolóautomatikát ott lehet alkalmazni, ahol a fogyasztókat egy kijelölt, fő betápláló berendezésen keresztül látják el, de van tartalék ellátási lehetőség is. A tartalék ellátás egyes esetekben azonos értékű (pl. egy transzformátorállomásban két azonos transzformátor), de

lehet csökkent értékű tartalék is (pl. ugyanezen esetben a másik transzformátor már terhelt, vagy távvezeték biztosítja a tartalékot). Kisebb teljesítményű tartalékbetáplálás esetén el kell kerülni az átkapcsoláskor létrejöheto túlterhelést. Ezt előre kijelölt fogyasztók átkapcsoláskor történő kikapcsolásával, vagy a tartalék táplálás bekapcsolásakor – annak túlterhelését érzékelve – automatikus terhelésledobással lehet megoldani.” [34] Habár egyes kisműködésű vételező, azaz alacsonyabb csatlakozási teljesítménnyel rendelkező fogyasztók esetében ezen eszközök megoldást jelenthetnek, a KIF-üzemzavarok jellegük miatt nem kezelhetőek velük.

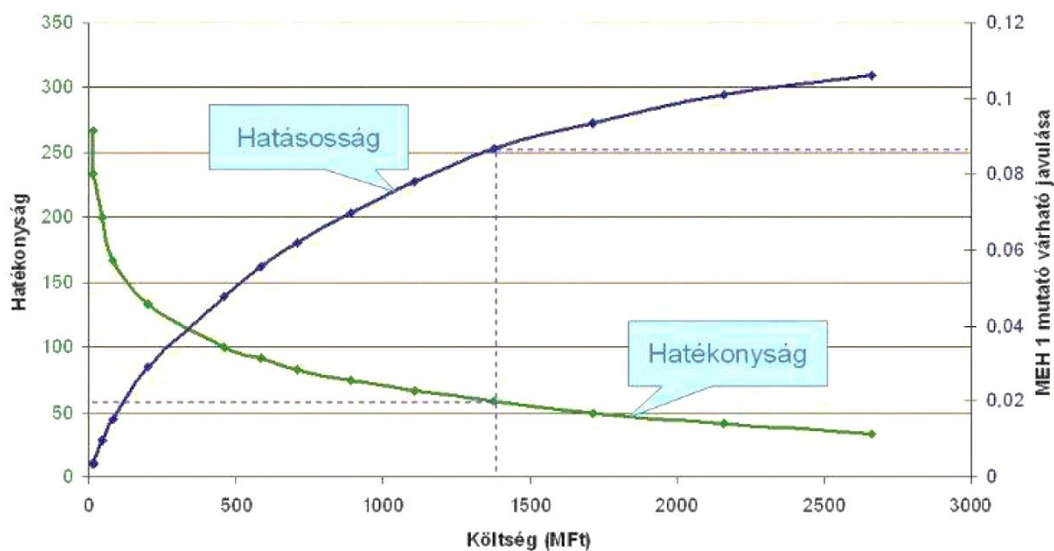
Csank András *Távműködtetés megvalósítása az ELMŰ-ÉMÁSZ elosztóhálózatán, a MEH mutatók javítása érdekében* című munkájában arról értekezik [35], hogy a városi 10 kV-os hálózaton a NERi és RM6 típusú KÖF-kapcsolóberendezéseket távműködtethetővé alakították motor- és áramváltók utólagos beépítésével, míg egyes, általa „rég”-ként definiált állomásokat teljes mértékben rekonstruáltak motoros hajtással felszerelt RMU¹³ berendezéssel. Az így kialakított berendezések az elosztóhálózati telemechanikák, azaz ETM-ek. Csank munkájában 20 kV-os hálózati telemechanikus oszlopkapcsoló (TMOK) programról is értekezik. Az ETM és TMOK telepítésének hatásosságát Csank fajlagos MEH 1 mutatókra adja meg, melyeket a technológiai beruházásokhoz hasonlít:

	Fajlagos MEH 1 mutatójavulás (10 ⁻⁶ db/MFt)
Előregedett oszlopkapcsolók cseréje	21
Előregedett szigetelők cseréje 20 kV-os szabadvezetési hálózaton	42
Teljes rekonstrukció 20 kV-os szabadvezetési hálózaton	36
Teljes rekonstrukció 0,4 kV-os szabadvezetési hálózaton	28
Teljes rekonstrukció 10 kV-os kábelhálózaton	5
Diagnosztika alapján előregedett, hibás szerelvények cseréje kábelhálózaton	35
10 kV-os és 20 kV-os ETM és TMOK telepítése	63–500

¹³ Körhálózati kapcsolóberendezés, ring main unit, RMU

Táblázat 3. 10 kV-os és 20 kV-os ETM és TMOK telepítésének hatása a MEH 1 mutatóra

A Táblázat 3.-ról egyrészt jól leolvasható, hogy az áramszolgáltatók milyen gazdasági számítási módszert alkalmazva jutottak el arra a döntésre, hogy a jelentős költséggel járó új eszközrendszer integrációját megkezdik. Az automatikák várható minőségi mutatókban való megmutatkozása nem konstans érték. Csak ezt az alábbi ábrával szemlélteti:



11. ábra ETM és TMOK alkalmazásának hatékonysága, ahol a hatékonyság dimenziója a fajlagos MEH 1 mutató javulása (10^{-6} db/MFt) [35]

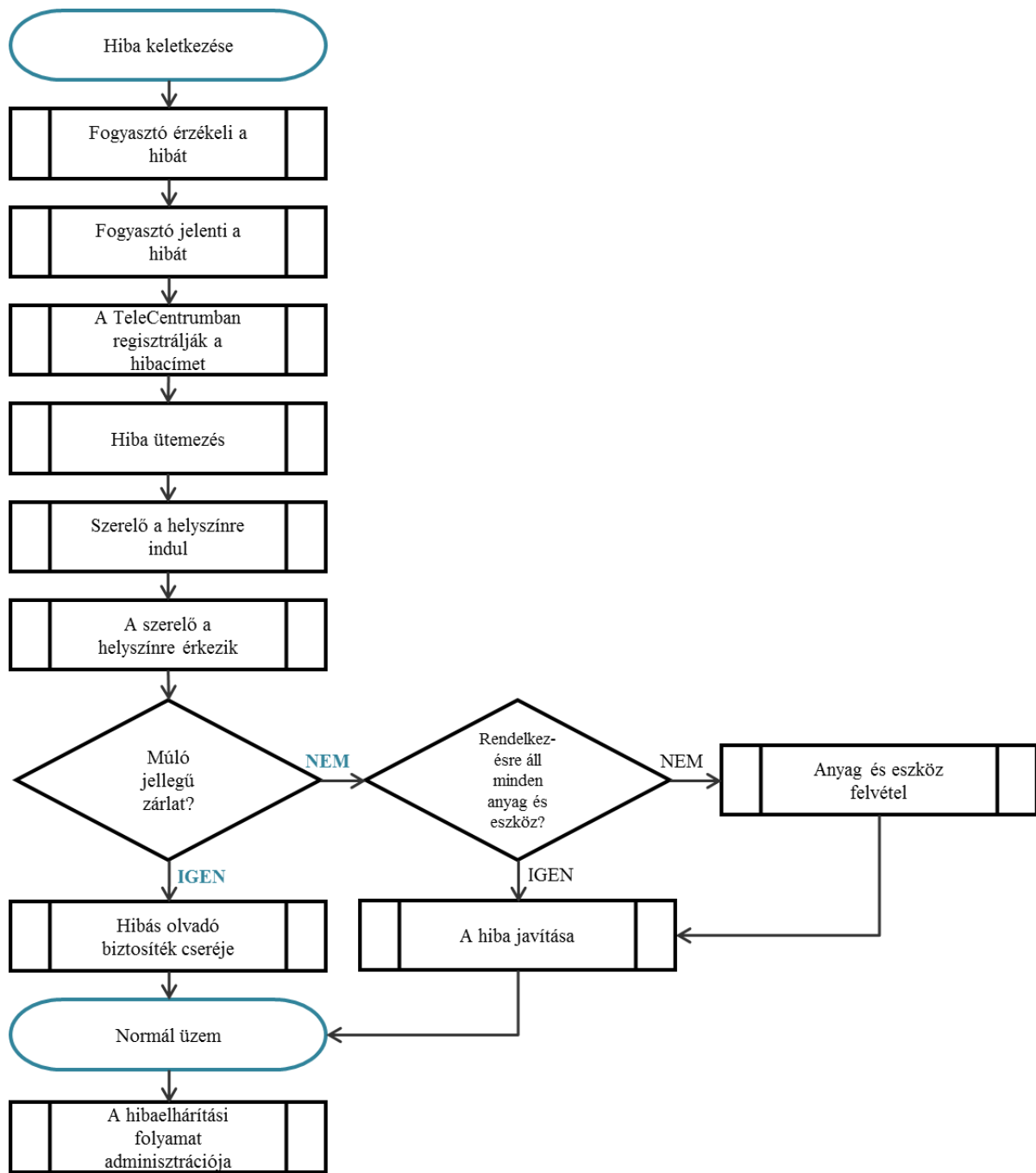
A 11. ábrán jól látszik, hogy „a hatékonyság ($\Delta Q/\Delta K$) a beépített mennyiséggel jelentősen csökken, ugyanakkor érezhető javulás a mutatószámokban csak nagyobb darabszám mellett van.” [35 p. 4] Ezen eszközök a minőségi mutatók valós csökkentésében igen hasznosak lehetnek, azonban alkalmazhatóságuk csak a KÖF-berendezésekre vonatkozóan került vizsgálat alá. Mindemellett a berendezések csak távműködtetéssel működnek, beépített automatizmust nem tartalmaznak, aminek okán egy múltó jellegű zárlat esetén továbbra is emberi beavatkozás szükséges.

2.4 Múltó jellegű zárlatok hatásainak csökkentése

Egy leszakadt vezeték, elégett villamos kötés, leégett, netán felrobbant berendezés, építési munkálatok közben megsértett kábel stb., azaz valamely hálózati elem részleges vagy teljes meghibásodásával járó üzemzavar, villamos zárlat esetén a fogyasztók csak szerelői beavatkozással láthatóak el villamos energiával, kivéve, ha a fogyasztók más áramkörre nem

terhelhetőek át táv- vagy automatikus üzemű berendezések segítségével. A KIF-hálózat topológiájából adódóan átterhelésre, új áramutak kijelölésére (a *2.1 fejezetben* ismertetett okok miatt) csak elvétve van lehetőség. Ezért kijelenthető, hogy táv- vagy automatikus működtetésre alkalmas eszközök integrálása csak múltó jellegű zárlatok kezelésére lehetséges.

A múltó jellegű zárlatokat rendszerint külső behatások (pl. a vezetékhez hozzáérő faág, heves esőzés miatti átívelés, nagy erejű szélleökés miatti fázisösszelengés stb.) vagy átmeneti túlterhelések okozzák. Jellemzőjük, hogy az áramszünet megszüntetéséhez a helyszínen delegált szerelőnek mindössze 1, 2 vagy 3 fázisban kell biztosítót cserélnie, attól függően, hogy hány fázis volt érintett az eseményben. Ilyen esetben más beavatkozásra, szerelésre nincs szükség.



12. ábra Hibaelhárítás lépéseinek egyszerűsített folyamatábrája [10]

A múltó jellegű és a hálózati elem meghibásodásával járó probléma hibaelhárításbeli különbségeit mutatja be a 12 ábra.

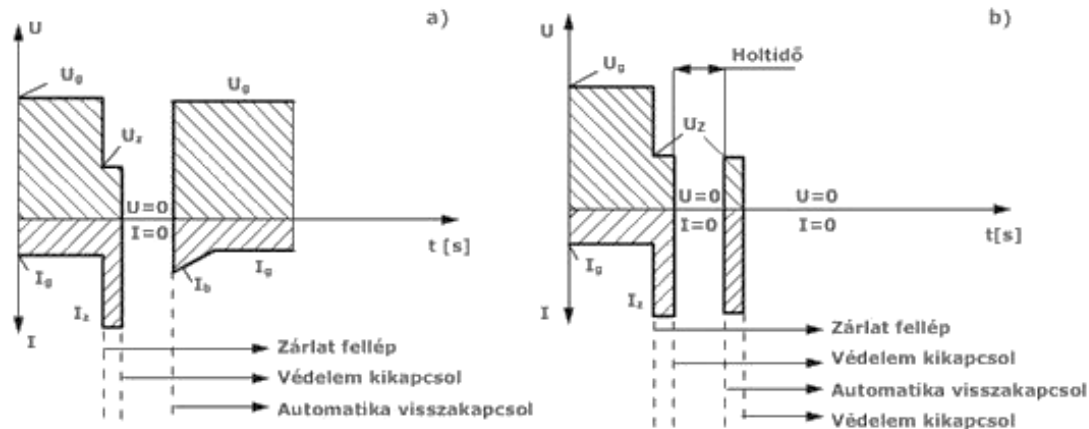
2.4.1 Visszakapcsoló automatikák alkalmazása a múltó jellegű zárlatok elhárításában

Morva György *Villamos energetika* című könyvében a múltó zárlatok kezeléséről az alábbiakat írja: „A villamosenergia-rendszerek üzemviteli tapasztalatai alapján már régen felismerték, hogy a hálózati rövidzárlatok nagy többségében a szelektív védelem¹⁴ által kikapcsolt hálózati elem visszakapcsolás után elviseli az üzemi feszültséget, és az energia a hibahely felkeresése és javítása nélkül is tovább szolgáltatható. A nagy- és középvezetékű szabadvezeték-hálózatok üzemében ennek alapján általánossá vált az egyszeri próbakapcsolás, amit az erőmű vagy alállomás kezelője – kb. 3 percnyi várakozás után – hajtott végre. Az üzemi megfigyelések arra is rámutattak, hogy a kézi próbakapcsolás sikeressége és a zárlatos vezeték kikapcsoló védelem működési ideje között szoros összefüggés van. A rövidzárlat gyors megszüntetése a hibahelyen a zárlati ív romboló hatását korlátozza, és ezáltal az eredményes visszakapcsolás valószínűségét növeli. A természetüknél fogva eleve tartós rövidzárlatok (vezetékszakadás, oszlopkidőlés, szigetelőátütés stb.) részaránya az összes rövidzárlathoz viszonyítva 10, 20, 35 kV-os hálózatokon nem haladja meg a 10%-ot, 120, 220, 400 kV-on pedig a statisztikai elemzések szerint 5-6% alatt van. A fennmaradó esetek túlnyomó többségében a visszakapcsolás eredményességét a hibahelyi rongálódás mértéke dönti el, ezt pedig elsősorban a zárlat időtartama befolyásolja. A visszakapcsolás sikerének feltételeit a következőkben foglalhatjuk össze: a zárlat ne legyen tartós jellegű, a lekapcsolás olyan gyors legyen, hogy képes legyen megakadályozni a zárlat helyének rombolódását.

Az önműködő visszakapcsolás módszere azonban nem csupán a próbakapcsolás automatizálását jelenti, hanem annak oly mértékű meggyorsítását is, amely a zárlat által érintett fogyasztók üzemszünetét olyan rövid időre korlátozza, hogy az üzem folytonossága gyakorlatilag nem szakad meg. A rövid feszültségmentes idővel – holtidővel – működő visszakapcsolási módszereket gyűjtőnéven gyorsvisszakapcsolásnak (GVA) is nevezzük.” [34].

A gyors visszakapcsolási ciklus alkalmazására a 13. ábra mutat példát.

¹⁴ Szelektivitás: valamely zárlat esetén létrejövő védelmi működések összessége, azaz a zárlat megszüntetése akkor szelektív, ha annak eredményeként a lehető legkisebb terjedelmű hálózatrész válik feszültségmentessé.



13. ábra a) sikeres, b) sikertelen GVA-ciklus lefolyásának szemléltetése [34]

„A folyamatábra a legegyszerűbb esetre, egyoldali zárlati táplálásra vonatkozik. Az ábrán a feszültség változása a visszkapcsoló automatika (VKA) felszerelési helyére – a kapcsolt részre – vonatkozik.

A zárlat pillanatában az áram az üzemi áramértékről a zárlati áram nagyságára nő, míg a feszültség az üzemi érték alá tör le. Utóbbit a zárlati áram és a hibahelyig terjedő impedancia szorzata határozza meg. A védelem és a megszakító együttes működési ideje után beáll az $I = 0$ és $U = 0$ paraméterekkel jellemzett holtidő. Sikeres visszkapcsolás esetén (13. ábra a)) a feszültség visszatér, az áram viszont a kissé már lelassult fogyasztói motorok felgyorsítása, valamint a fogyasztói transzformátorok bekapcsolási áramlökése miatt az üzeminél nagyobb értékről indulva csillapodik le a normális üzemi szintre.

Ha a visszkapcsolás sikertelen (13. ábra b)), a zárlat még fennáll, ezért az üzemi feszültség helyett ismét a letört zárlatos feszültség jelenik meg. Újból fellép a zárlati áram is, majd a védelem másodszori működésének hatására a hibás vezeték véglegesen feszültségmentessé válik.” [34]

A GVA-ciklus tehát az alállomási NAF- és KÖF-megszakítók esetében egy automatikus ciklus lefuttatását jelenti. Ezen ciklusok mind a magyar, mind a nemzetközi villamosenergia-rendszerbe beépítésre kerültek [36], de sem hazai, sem nemzetközi szakirodalom nem tért ki e metódus KIF-hálózatra történő alkalmazásának vizsgálatára. Léteznek azonban olyan eszközök, melyek az alállomásokon kívül is megvalósítják a GVA-ciklusokat az elosztóhálózaton.

2.4.2 Recloserek alkalmazása

A magyar nyelvű szakirodalomban Orlay Imre és Kiss József foglalkozott kiemelten az elosztóhálózatra telepített visszakapcsoló automatikákkal, az úgynevezett recloserekkel (visszazárók) *A recloserek alkalmazási lehetőségei és ezzel kapcsolatos előnyök az ELMŰ-ÉMÁSZ középfeszültségű hálózatán* című munkájukban. Megfogalmazásuk szerint „A recloser tulajdonképpen:

1. a 20 kV-os szabadvezetéki hálózatra kihelyezett védelemmel, visszakapcsoló automatikával ellátott megszakító, amely
2. érzékeli és megszakítja a mögötte fellépő zárlatokat, visszakapcsoló automatikával van ellátva az átmeneti hibák eltávolítására, ezzel csak a sérült zónában levő fogyasztók érzékelik a kiesést,
3. lehetővé teszi a hálózat gyors rekonfigurálását,
4. a jelenleg sugarasan üzemelő íves, gyűrűs hálózatok zárása, hurkolt hálózatként való üzemeltetése esetén lehetőség van a hálózati veszteség csökkentésére.” [37 p. 7]

A romániai székhelyű EnergiBit vállalat ügyvezetője, Wéber Zoltán Árpád *Smart grid hatása a fogyasztói zavartatás csökkentésére és ennek lehetséges fejlesztési stratégiája* c. munkájában konkrét SAIDI és SAIFI megtérülési értékeket is meghatároz, amivel bizonyítja az eszköz hatékonyságát [38].

A reclose hatásaival a Texasi A&M University kutatói is foglalkoztak. Lingfeng Wang és Chanan Singh *Reliability-Constrained Optimum Placement of Reclosers and Distributed Generators in Distribution Networks Using an Ant Colony System Algorithm* című munkájukban a recloserek optimális elhelyezésével foglalkoznak Ant Colony System algoritmus alkalmazásával [39].

Ugyanezen feladatra, a reclose eszközök optimális helymeghatározására vállalkoznak Nematollah Dehghani és Rahman Dashti, az Islamic Azad University kutatói az *Optimization of Recloser Placement to Improve Reliability by Genetic Algorithm* című munkájukban. A feladatot ők genetikus algoritmus alkalmazásával végzik el [40].

Ezen munkák egyértelműen bizonyítják a reclose elméleti és gyakorlati hasznosságát, pozitív hatását a minőségi mutatókra, azonban az eszközök alkalmazhatóságát csak a KÖF-hálózatokra vizsgálják.

2.5 Meghibásodott fogyasztók számának meghatározása

Pálfi Judit *Big Data módszerek alkalmazása az áramszolgáltatásban* c. [10] munkája a meghibásodott berendezés beazonosításának lehetőségeiről hosszán értekezik.

Morva György *Villamosenergetika* [34], Novothny Ferenc *Villamosenergia-rendszerek I.* [41] és Póka Gyula *Védelmek és automatikák villamosenergia-rendszerekben* [42] című könyveikben számtalan megoldást mutatnak be az áramszünetek időbeli lefolyásának és/vagy érintett fogyasztói számának csökkentésére.

A meghibásodott berendezés beazonosításával foglalkozik a portugál EDP Distribuição és QEnergia tagjaiból álló munkacsoport *Getting real-time fault location information from multi-vendor legacy protection systems* című tanulmánya is [43]. Munkájukban bemutatnak egy KÖF-elosztóhálózati rendszerre kifejlesztett, villamos paraméterek elemzésén alapuló algoritmust, melynek segítségével a hibahely beazonosítását 10% körüli hibaráttával képesek elvégezni.

A University of Sheffield és a Northern Powergrid munkatársai által készített *Smarter Business processes resulting from Smart Data* című munkájukban olyan modellt mutatnak be, amely az intelligens villamosenergiafogyasztás-mérő [44] különböző periódusidejű és valós idejű adataiból épül fel. A munka a modell felhasználási lehetőségeiként nevezi meg a terheléelosztási [45], hálózattervezési és hibadetektálási feladatokat.

A vizsgált tudományos munkák közül egyik sem tér ki az egyes üzemzavarokban meghibásodott fogyasztói szám meghatározására, arra a hálózatdokumentációs rendszerekből (például lásd.: *4.1 fejezet*) ismert paraméterként tekint.

3 A kutatás célja, hipotézisek

Az ismertett jogszabály és a vonatkozó szakirodalom feldolgozása alapján megállapítottam, hogy a villamos energia elosztói engedélyesei számára kiemelt szempont az ellátásbiztonság és az adatminőség. Az általam végzett kutatómunka célja ennek okán az ellátásbiztonság növelése, a szolgáltatás folytonosságának magasabb szintű biztosítása, azaz a villamosenergia-szolgáltatás minőségének, valamint a szolgáltatott adatok minőségének javítása. A vonatkozó hazai és nemzetközi szakirodalom áttanulmányozása után az alábbi hipotéziseket állítottam fel.

HIPOTÉZIS I.

A villamos elosztóhálózat nyilvántartási rendszeréből származó adatokból létrehozható egy olyan új modell, melynek alkalmazásával lehetővé válik a villamosenergia-átviteli hálózati és villamosenergia-elosztóhálózati rendszer topológia szintű analízise.

HIPOTÉZIS II.

Kidolgozható olyan matematikai kis lépésszámú eljárás, amely a kisfeszültségű elosztóhálózaton bekövetkezett hibák fogyasztói érintettségének topológiai alapú meghatározására alkalmas.

HIPOTÉZIS III.

Kidolgozható a múltó zárlatok kezelésére alkalmas, elosztóhálózati elosztószekrényekbe integrált visszkapcsoló automatizmus rendszerbe illesztésének elmélete.

HIPOTÉZIS IV.

A kisfeszültségű elosztóhálózat munka- és üzemirányítási rendszerek adatbázisának szabad szöveges adatait felhasználásával kidolgozható egy olyan új modell, amelynek segítségével megvalósítható a múltó zárlatok azonosításának alacsony mintavételezéséből adódó anomáliáinak a korrekciója.

HIPOTÉZIS V.

Kidolgozható egy olyan új eljárás, amelynek alkalmazásával megvalósítható a kisfeszültségű elosztóhálózati múltó zárlatok kezelésére alkalmas eszközök elhelyezésének hatásosságra és gazdaságosságra optimalizált telepítése.

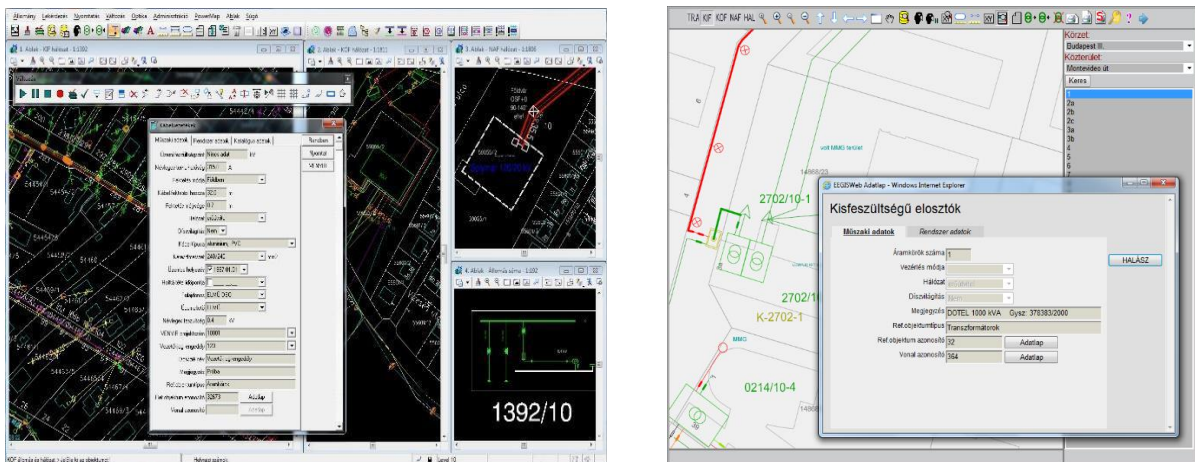
ALKALMAZOTT ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

4 A kutatáshoz használt adatbázisok

Kutatásom elvégzéséhez lehetőséget kaptam Magyarország második legnagyobb áramszolgáltató vállalata, az ELMŰ-ÉMÁSZ adatainak kutatási célú felhasználására.

4.1 Az ELMŰ-ÉMÁSZ hálózat-nyilvántartási rendszere

Az áramszolgáltató vállalatok villamos hálózataik műszaki paramétereinek nyilvántartására GIS alapú hálózat-nyilvántartó rendszert üzemeltetnek. Például az EÉGIS rendszer az ELMŰ és az ÉMÁSZ áramszolgáltató vállalatok villamos hálózatainak teljes műszaki hálózat-nyilvántartását valósítja meg. Az EÉGIS magában foglalja az ELMŰ és az ÉMÁSZ kezelésében lévő nagy-, közép- és kisfeszültségű villamos hálózatok nyilvántartását az áramszolgáltatók teljes szolgáltatási területén. Az EÉGIS rendszer Oracle 10/11g Spatial technológiára épülő hálózat-nyilvántartást megvalósító műszaki információs rendszer, amely együttműködik a vállalat további informatikai rendszereivel (SAP, munkairányítási, SCADA/DMS stb.). [46]



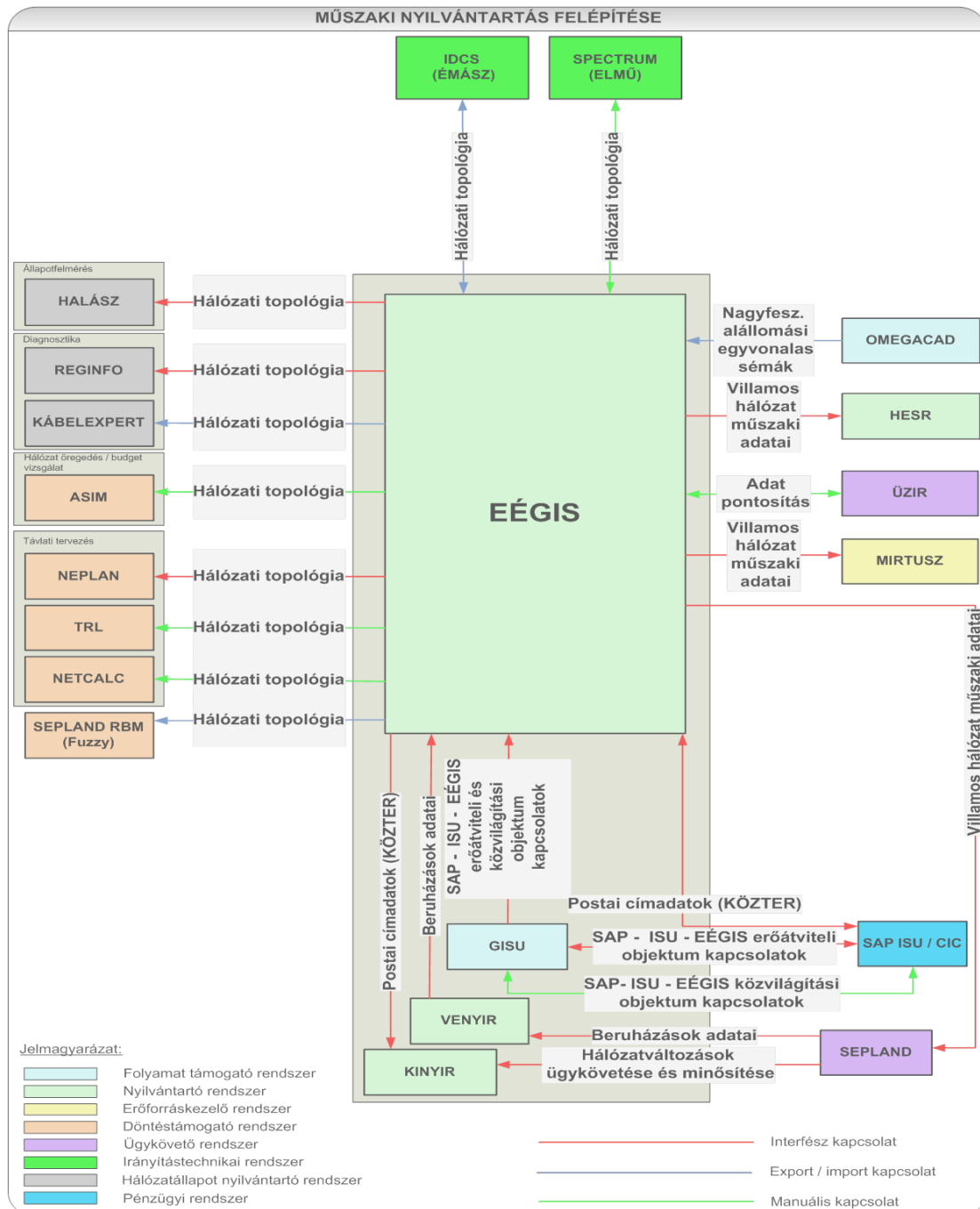
a)

b)

14. ábra Az EÉGIS rendszer megjelenítési felületei [46]

Az EÉGIS rendszer objektumok (pl.: alállomási épületek, kisfeszültségű elosztószekrények stb.) GPS koordináták szerinti helyét mutatja meg egy alaptérképen. Az egyes objektumok grafikus megjelenítésére kattintva a felhasználók az adott elem villamos, építészeti, történeti stb. tulajdonságaiba, adataiba nyerhetnek betekintést.

Az EÉGIS (vagy ezzel egyenértékű rendszer) nélkül a hálózaton meghibásodott eszközök (transzformátorok, elosztószekrények, kötések, kábelek, vezetékek, stb.) beazonosítása, a hálózati vagyon nyomon követése, a stratégiai és üzemzavar-megelőző beruházások tervezése, előkészítése elképzelhetetlen lenne. Az EÉGIS rendszer felépítését az alábbi ábra szemlélteti:



15. ábra Az EÉGIS rendszer felépítése és külső kapcsolatai [21]

Az 15. ábra jól szemlélteti az EÉGIS rendszer komplexitását: számos automatikus (piros vonal), export/import- (kék vonal) és manuális kapcsolattal (zöld) rendelkezik

folyamatirányítást támogató, nyilvántartó, erőforráskezelő (MIRTUSZ), döntéstámogató, ügykövető, irányítástechnikai, hálózatállapot-nyilvántartó és pénzügyi rendszerekkel. Az EÉGIS rendszer egy adattárház¹⁵, amelynek tulajdonsága, hogy adat nem keletkezik a rendszerben, nem futnak metódusok, algoritmusok: az EÉGIS a forrásrendszerekből¹⁶ kapott adatokat tartja nyilván.

4.2 Az ELMŰ-ÉMÁSZ munkairányítási és KIF-üzemirányítási rendszere

Az ELMŰ-ÉMÁSZ műszaki ügyfélszolgálati, munkairányítási és KIF-üzemirányítási rendszere a MIRTUSZ. A rendszer 2002-es bevezetése óta számos új modullal bővült, de alapfunkciója nem változott: A MIRTUSZ Munkairányító Rendszer legfontosabb feladata a munkairányítók, diszpécserek munkájának támogatása a kis- és közép feszültségű hálózaton folyó felújítási, karbantartási, üzemeltetési és a fogyasztók körüli munkák megtervezésében, a régiós szerelői erőforrások (emberek, kocsik) hatékony felhasználásában, valamint a gyors és hatékony hiba- és üzemzavar-elhárításban. [32]

A rendszer lefedi a munkaszervezés és irányítás teljes folyamatát, a munkafeladatok kialakításától kezdődően a munkák megtervezésén, ütemezésén és szerelőknek történő kiadásán, irányításán keresztül egészen a munkák lezárásáig. A rendszer szolgáltatásai 7 terület (funkciócsoport) köré csoportosíthatók, amelyek meghatározzák a rendszer használatának módját is. Ezek a területek a következők: automatikus (rendszer által indított és időzített) funkciók; adminisztrációs funkciók; törzsadatok kezelése; diszpécseri térkép megjelenítése és kezelése; hibabejelentés-lista megjelenítése és kezelése; hiba-, üzemzavarlista megjelenítése és kezelése; szerelőcsapatműszak-lista megjelenítése és kezelése; igénybejelentés-lista megjelenítése és kezelése; tervezettmunka-lista megjelenítése és kezelése.

A KIF-üzemzavarok elemzéséhez felhasznált adatmezők a 2. *mellékletben* kerülnek felsorolásra.

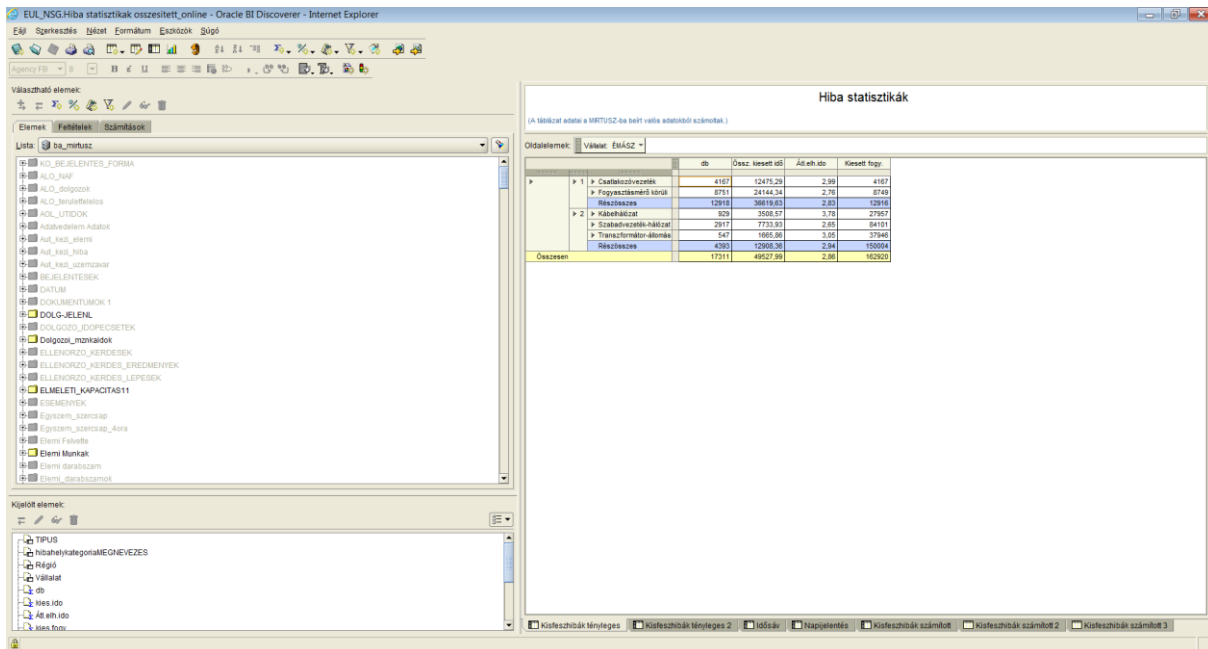
¹⁵ Adattárház: Az adattárház egy szervezet történeti adatainak fő tárhelye. Adatait a szervezetben található más informatikai rendszerektől – adattárház-terminológia szerint a forrásrendszerektől – veszi át, célja pedig, hogy olyan rendszereket lásson el adatokkal, mint a döntéstámogató rendszerek, a vezetői információs rendszerek vagy adatbányász szoftverek.

¹⁶ Forrásrendszer: az az alkalmazás vagy vállalati rendszer, ahol tartalom generálódik.

A MIRTUSZ és az EÉGIS rendszerből közvetlenül nagy mennyiségű adathoz csak igen nehezen lehet hozzáférni. Ezért kutatásomhoz az Oracle BI Discoverer alkalmazást használtam.

4.3 Az Oracle BI Discoverer

Az Oracle BI Discoverer egy intuitív, alkalmi lekérdezésekkel működő jelentéskészítő, elemző- és webes publikálószoftver. Az Oracle BI Discoverer alkalmazásával biztonságosan és közvetlenül elérhetőek a relációs és a többdimenziós adatforrásokból származó adatok. Az Oracle BI Discoverer program megjelenítési felületének egyszerű nézetében nem látszanak a bonyolult belső adatszerkezetek és komplex adatkapcsolatok [47].



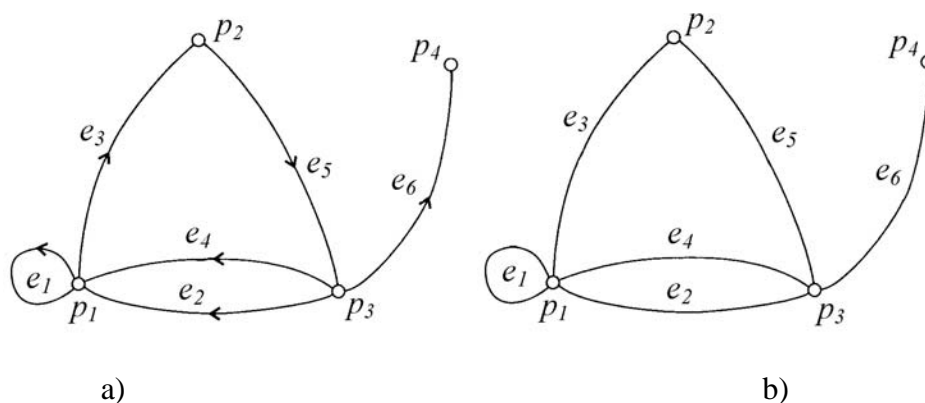
16. ábra Egy Oracle BI Discoverer rendszerben készített lekérdezés (saját ábra)

5 A kutatásban alkalmazott tudományos módszerek

Kutatásom során egy új eljárást dolgoztam ki a KIF-hálózaton bekövetkezett hibák fogyasztói érintettségének topológiaalapú meghatározására (fogyasztói szám meghatározása elérhetőségi mátrixszal, CONsumer Numbers with Attainability Matrices, CONAM). A feladatot matematikai kérdésként kezeltem [48], melynek alapján a villamosenergia-rendszert gráfelmélet alkalmazásával közelítettem meg [10, 26, 41]. E módszerrel villamos paramétereiktől független, fa struktúrájú gráfként vált leírhatóvá a KIF-hálózat. A villamos paramétereiktől való függetlenítés által a kidolgozott eljárás multidiszciplináris módszerévé vált, azaz nemcsak a villamos elosztóhálózaton, hanem más fa struktúrájú hálózatok esetében is felhasználható.

5.1 Rendszerek gráfmodellezése

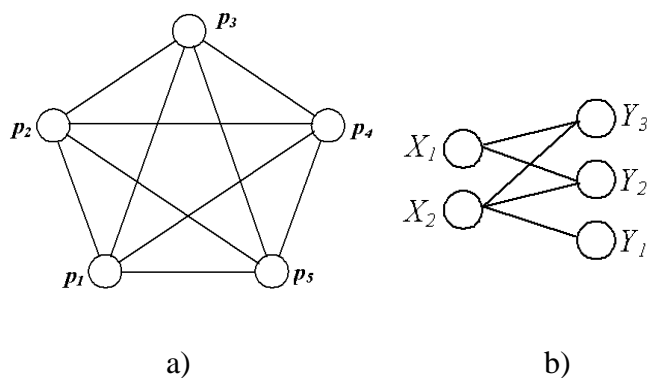
Pokorádi László *Rendszerek és folyamatok modellezése* c. munkája alapján a gráf olyan matematikai alakzat, amely pontokból és a pontokat összekötő vonalakból, élekből áll [26]. $G(P;E;f)$ gráfon azt értjük, amely a P pontokból és bizonyos pontokat összekötő E vonaldarabokból áll. A P halmaz elemeit pontoknak, a gráf szögpontjainak vagy csúcsainak, az E halmaz elemeit pedig a gráf éleinek nevezzük. A $G(P;E;f)$ meghatározásban szereplő f függvény az E halmazt képezi le a $P \times P$ -re, azaz bármely e élhez hozzárendel egy pontpárt a P halmaz elemei közül. Ezért f -et szokás illeszkedési leképezésnek is nevezni. Definiálható irányított gráf, mely esetben az élek végpontjainak sorrendjét figyelembe vesszük.



17. ábra Irányított (a) és irányítatlan (b) véges gráf [26]

A gráfokat szemléltethetjük úgy is, hogy minden P_i csúcsához a sík egy pontját rendeljük, és két csúcsot akkor kötünk össze, ha a gráf a két szögpont közt élt tartalmaz. A 17. ábrán egy

irányított (a), illetve egy irányítatlan (b) véges gráf¹⁷ látható. Irányítatlan gráf esetén, ha p_i és p_j csúcsokat összeköti valamely e_k él, akkor a p_i és p_j úgynevezett szomszédos csúcsok, és az e_k él végpontjai. Hurokélnek nevezzük azt az élt, melynek irányított gráf esetén a kiinduló- és végpontja – irányítatlan gráf esetén mindkét végpontja – azonos (17. ábra, e_1). Többszörös élekről beszélünk, ha több él ugyanazt a két szögpontot köti össze (17. ábra gráfok e_2 és e_4). Az egyszerű gráfok hurkokat és többszörös éleket nem tartalmaznak. Egy csomópont kiemelt tulajdonsága annak fokszáma. p_i csúcsból eredő vagy oda érkező élvégek $\varphi(p_i)$ száma a p_i fokszáma vagy más néven: foka. A 0. fokú csúcs neve: izolált pont (17. ábra b), p_3).



18. ábra Teljes gráfok [26]

A $G(P;E;f)$ gráfnak a $G'(P';E';f')$ részgráfja, ha P' , illetve E' részhalmaza P -nek, illetve E -nek és bármely $e, \in E$, akkor $f'(e) = f(e)$. Amennyiben E' pontosan azokat az E -beli éleket tartalmazza, melyek a P' szögpontjait kötik össze, akkor $G'(P';E';f')$ a $G(P;E;f)$ gráf P' által feszített részgráfja. Irányítatlan gráf esetén minden az E elemeiből álló

$$F = (e_1\{p_1; p_2\}; e_2\{p_2; p_3\}; \dots e_s\{p_s; p_{s+1}\}) \quad (4)$$

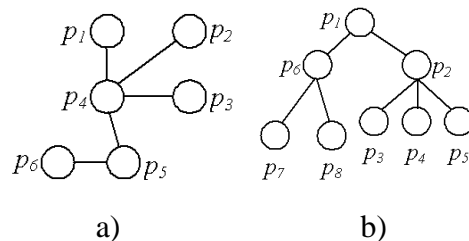
sorozatot s hosszúságú élsorozatnak nevezünk. Ha p_1 és p_{s+1} pontok megegyeznek, de rajta kívül más pontot csak egyszer „érint” az élsorozat, akkor zárt élsorozatról vagy körről, ellenkező esetben nyitott élsorozatról beszélünk.

Összefüggő gráf esetén a gráf bármely két szögpontja között létezik út. A 17. ábra b) irányítatlan gráfjában például nyitott az $(e_6\{p_4; p_3\}; e_5\{p_3; p_2\})$ élsorozat, melynek hossza: 2, illetve egy 3 él hosszúságú kört alkot az $(e_3\{p_1; p_2\}; e_5\{p_2; p_3\}; e_2\{p_3; p_1\})$ élsorozat.

¹⁷Egy gráf végtelen, ha csúcsainak vagy éleinek vagy akár mindkettőnek száma végtelen. Egy olyan gráfot, amelyben minden csúcs fokszáma véges, lokálisan véges gráfnak hívunk. Egy gráfról – ha nem állítjuk az ellenkezőjét – mindig feltehető, hogy véges [49].

A két szögpontot a legkevesebb élszámmal összekötő élsorozat éleinek száma egy irányított gráfban a p_i és p_j csúcs $\delta(p_i;p_j)$ távolsága.

Az olyan összefüggő irányítatlan gráf neve, mely nem tartalmaz köröket, fa vagy fa struktúrájú gráf.



19. ábra Fa gráfok [26]

Az n csúcsot tartalmazó fa gráfoknak pontosan $n-1$ éle van. A 19. ábra a) egy 6 szögpontú fa gráfot ábrázol, melynek 5 éle van. A fa gráfok tulajdonsága, hogy bármely két pontot pontosan egy út köt össze. Egy kiválasztott csúccsal bíró fát gyökeres fának nevezünk, a kiválasztott csúcs pedig a gyökér (19. ábra b)).

A gráfokat matematikai formában mátrixok alkalmazásával lehet leírni. Egy gráf élei közti kapcsolatok megadhatóak az úgynevezett teljes csúcsmátrixszal. Az irányítatlan gráf $\mathbf{A} = [a_{ij}]$ -vel jelölt csúcsmátrixa i -edik sor j -edik elemének a_{ij} értéke jelöli a p_i és a p_j szögpontokat összekötő élek számát. Irányított gráf esetén az \mathbf{A} mátrix i -edik sor j -edik elemének a_{ij} értéke a p_i szögpontból induló és a p_j végpontú élek számát jelöli.

Szemléltetésképpen a 17. ábra a) gráf csúcsmátrixa:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

míg a 17. ábra b) gráf csúcsmátrixa:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

A gráfok élei és szögpontjai közti kapcsolatok az úgynevezett élmátrixokkal (incidenciamátrixok vagy illeszkedési mátrixok) írhatók le. A $\mathbf{B} = [b_{ij}]$ incidenciamátrixot a $G(P;E;f)$ gráfhoz az alábbiak szerint rendeljük irányítatlan gráf esetén

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ha } e_j \text{ nem hurokél, és illeszkedik a } p_i \text{ - hez} \\ 0 & \text{minden más esetben} \end{cases} \quad (7)$$

míg irányított gráf esetén:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ha } e_j \text{ nem hurokél és kezdőpontja } p_i \\ -1, & \text{ha } e_j \text{ nem hurokél és végpontja } p_i \\ 0, & \text{ha } e_j \text{ hurokél, vagy nem illeszkedik } p_i \text{ - hez} \end{cases} \quad (8)$$

Példaként a 17. ábra gráfok incidenciamátrixai a következő módon írhatók fel:

irányított gráf (17. ábra a)) élmátrixa:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

irányítatlan gráf (17. ábra b)) élmátrixa:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

A gráfokban lévő kapcsolatokat leíró további mátrix a szomszédossági mátrix (\mathbf{A}_s), melynek $a_{s_{ij}}$ értékei irányítatlan gráf esetén

$$a_{s_{ij}} = \begin{cases} 1, & \text{ha van olyan él, amelynek két végpontja } p_i \text{ és } p_j \\ 0 & \text{minden más esetben} \end{cases} \quad (11)$$

míg irányított esetén

$$a_{s_{ij}} = \begin{cases} 1, & \text{ha van } p_i \text{ -ből } p_j \text{ -be vezető él} \\ 0 & \text{minden más esetben} \end{cases} \quad (12)$$

A villamosenergia-rendszert vizsgálva fontos az az információ, hogy két csomópont között van-e elérhetőség: azaz az egyik csomópont állapotváltozása hatással van-e a másik csomópont állapotára. Ennek a kapcsolatnak a leírására szolgál az elérhetőségi mátrix (\mathbf{Z}), mely kvadratikus mátrix z_{ij} értékei:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ha } p_i \text{ csúcsból } p_j \text{ szögpont elérhető} \\ 0 & \text{minden más esetben} \end{cases} \quad (13)$$

Ez a mátrix egy irányított fa struktúrájú gráffal modellezhető rendszer esetén azt mutathatja meg, hogy az i -edik elem meghibásodása hatással van-e a j -edik elem működésére [26]. Egy m csomópontból álló gráf $A_{m \times m}$ szomszédossági mátrixának ismeretében a $Z_{m \times m}$ elérhetőségi mátrixa a

$$Z = \text{sign} \sum_{n=1}^m A^n \quad (14)$$

egyenlettel határozható meg, ahol

$$\text{sign } \eta = \begin{cases} 1, & \text{ha } \eta > 0 \\ 0, & \text{ha } \eta = 0 \\ -1, & \text{ha } \eta < 0 \end{cases} \quad (15)$$

[50]

5.2 Gráfmodellek hálózattudományi vizsgálata

Az általam kidolgozott új eljárás (fogyasztói szám meghatározása elérhetőségi mátrixszal, CONsumer Numbers with Attainability Matrices, CONAM) validálásához az ELMŰ-ÉMÁSZ villamos elosztóhálózat GIS alapú nyilvántartási rendszeréből származó adatokból létrehoztam egy új villamosenergia-átviteli és elosztóhálózati gráfmodellt (TDNm – Transmission and Distribution Network model). A modelltől mintát vettem, mely minta megfelelőségét hálózattudományos eszközökkel verifikáltam.

A hálózattudomány egy viszonylag új kutatási terület. Más néven alkalmazott gráfelméletként is lehet rá tekinteni, ahol a gráfokat (vagy hálózatokat) mindig valamilyen valós életből vett jelenség, pl. villamos, szociális hálózatok, gazdasági folyamatok, számítógépes hálózatok, biológiai hálózatok stb. matematikai reprezentációja adja. Segítségével megvalósítható nagy hálózatok topológiájának elemzése, vizualizációja, útvonalak természetének vizsgálata valós hálózatokban.

A hálózattudomány kutatásban alkalmazott összefüggései:

5.2.1 Struktúra

A csomópontok és élek számából kikövetkeztethető az adott hálózat szélessége, mélysége és struktúrája. A KIF-elosztóhálózaton a fa struktúrából adódik, hogy a mintagráfra igaz kell, hogy legyen az alábbi összefüggés:

$$L = N - 1 \quad (16)$$

ahol: N a csomópontok és L az élek darabszáma.

5.2.2 Átlagos fokszám

A hálózat struktúrájának számos globális mutatója közül a legtöbbször használt és egyben legegyszerűbb mutatónak az átlagos fokszám tekinthető. Ez azt mutatja meg, hogy a hálózat egy tagjának átlagosan mennyi kapcsolata van.

$$\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i = \frac{2L}{N} \quad (17)$$

ahol: N a csomópontok száma, L az élek száma, k_i az i -edik pontba mutató kapcsolatok száma.

5.2.3 Fokszámeloszlás

A p_k fokszámeloszlás annak a valószínűségét adja meg, hogy egy véletlenszerűen kiválasztott csomópontnak éppen k legyen a fokszáma. Mivel valószínűség, ezért összegük 1 kell, hogy legyen. Egy hálózat fokszámeloszlás- valószínűsége az alábbi képlettel írható le:

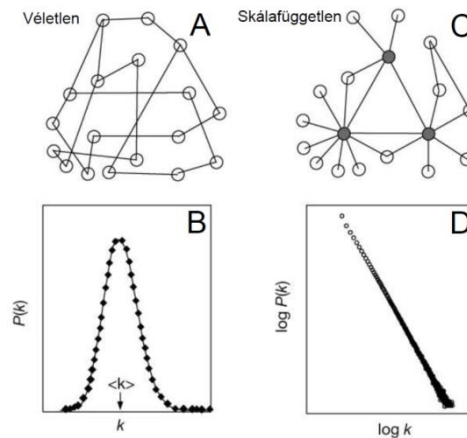
$$p_k = \frac{N_k}{N} \quad (18)$$

ahol: p_k a hálózat fokszámeloszlása, N_k a k fokszámú pontok száma.

A fokszámeloszlásnak központi szerepe van a hálózatok vizsgálatában, mivel a legtöbb hálózati tulajdonság számításához ismerni kell ennek értékét, tehát további számítások kiindulóparamétere. Mindemellett a fokszámeloszlás önmagában is igen jelentős: alakjából következtetéseket lehet levonni a hálózat struktúrájára vonatkozóan [51].

A hálózattudomány struktúráját tekintve három csoportba sorolja a hálózatokat:

- véletlen,
- skálafüggetlen, illetve
- egyéb hálózatok.



20. ábra A véletlen és a skálafüggetlen hálózatok közötti különbség szemléltetése [52]

A 20. ábra jól szemlélteti, hogy míg a véletlen hálózatnak (A) van egy jellemző skálája (B tábla, nyíllal jelölve), addig a skálafüggetlen hálózatnál ilyenről nem beszélhetünk. Ebből következik, hogy a skálafüggetlen hálózatok tartalmaznak olyan csomópontokat, melyeknek fokszáma lényegesen nagyobb a többi csomópontéhoz képest (C, szürke csomópontok).

6 Alkalmazott adatbányászati eszközök bemutatása

Az ELMŰ-ÉMÁSZ munka- és kiefeszültségű elosztóhálózati üzemirányítási adatbázisának szabad szöveges adatait felhasználva létrehoztam egy új topológiai adatbázist a múltó jellegű zárlatokról. A szabad szöveges mezők elemzéséhez adatbányászati eszközöket¹⁸ alkalmaztam R szoftverben¹⁹. Az elemzés során az egyes hibák osztályozásra, klasszifikációra kerültek aszerint, hogy átmeneti hibák voltak-e. Pontosabban, hogy automatikus visszacapcsolás segítségével az adott hiba elhárítható lett volna-e.

A feladat tehát egy klasszifikátor modell felállítását igényelte. Definíció szerint a klasszifikátor: „Ha A attribútumok egy halmaza, R_A pedig az A -ban szereplő tulajdonságokkal rendelkező rekordok halmaza, valamint $C \notin A$ osztálycímke értékkészlete $C = \{C_1, C_2 \dots C_n\}$, akkor a $K : R_A \rightarrow C$ függvényeket klasszifikátoroknak hívjuk.” [54 p. 7]

6.1 A döntési fa

A döntési fa egy olyan, a döntéshozatalban használt grafikus modell, amit az optimális tevékenység határoz meg olyan esetekben, amikor több választási lehetőség is rendelkezésre áll, és a kimeneteik bizonytalanok. A döntési fák egyszerű (egy-egy attribútumon alapuló) döntések sorozatával osztályoznak. Minden döntési fának van egy gyökere. A gyökértől indulva minden csúcsban van egy feltétel egy attribútumra, a csúcs gyermekeibe vezető éleken pedig a lehetséges válaszok helyezkednek el. Tehát egy csúcsnak kategorikus attribútum esetén annyi gyereke van, ahány lehetséges válasz, a többi esetben pedig annyi, ahány intervallumra osztjuk a lehetséges értékeket. Ha mindig a pillanatnyi csúcsban található feltételnek megfelelően megyünk tovább, előbb-utóbb egy levélbe érünk. A levelekben megnézzük, hogy az adott levélbe érkező rekordok között melyik a leggyakoribb osztály; ez lesz a levél címkéje, a klasszifikáció kimenete. Sokféleképpen építhető döntési fa, a legismertebb módszer az ID3.

ID3 esetében a gyökértől kezdve építjük a fát; „mohó” módon mindig úgy választunk döntési attribútumot egy csúcspontban, hogy az információnyereség ($IG(S, a) = H(S) - H(S|a)$) maximális legyen.

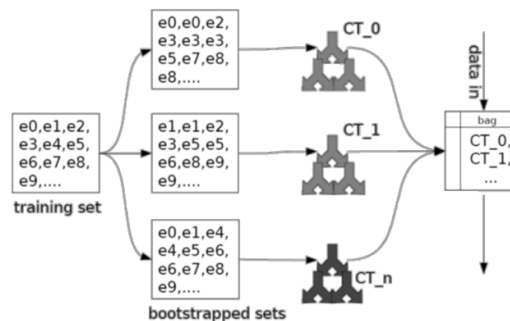
¹⁸Az adatbányászat folyamán nagy adattárakban fedezhető fel hasznos információ automatizált módokon.

¹⁹R szoftver: nyílt forráskódú statisztikai szoftvercsomag, amelyben rendelkezésre állnak már kidolgozott eljárásokat tartalmazó függvények és munkakörnyezetek [53].

6.2 A Random Forest algoritmus

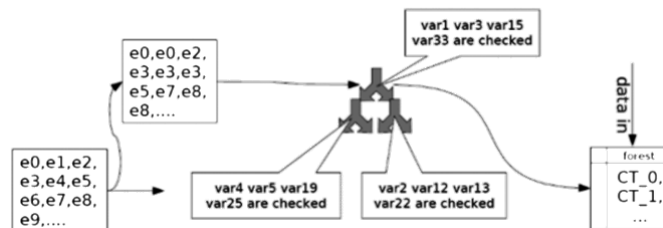
Leo Breiman Machine Learning című munkája alapján [55] a véletlen erdő építése az alábbi pontokból épül fel:

- Képezünk egy K döntési fát úgy, hogy bootstrappinggel²⁰ külön-külön tanulóadathalmazt készítünk hozzá.
- Az egyes fák építésekor a csomópontokban az attribútumválasztáskor a lehetséges attribútumhalmazt megszorítjuk egy jóval kisebb méretűre véletlenszerű választással. (Utána a max. IG-t vesszük.)
- Nyesést nem alkalmazunk a fákon



21. ábra Véletlen erdő építése I. [56]

Az egyes fák egyes csúcsainál véletlenszerűen sorsolt attribútumokból választhatjuk csak ki a döntési attribútumot:



22. ábra Véletlen erdő építése II. [56]

Definíció szerint véletlen erdőnek (Random Forest, RF) nevezzük azt az osztályozót, klasszifikátort, amely olyan döntési fák $\{h(\mathbf{x}, \theta_k), k = 1, \dots, K\}$, halmazából áll, ahol $\{\theta_k\}$ -k független, azonos eloszlású random vektorok, és a fák többségi szavazással döntenek (minden fa egy-egy szavazatot adhat le egy-egy osztályozandó vektorra).

²⁰ Visszatevéses sorsolás, N -ből N -et sorsolunk.

A fák számának növelésével a klasszifikáció minősége konvergál (nem lesz túltanulás), azaz minél nagyobb, annál biztosabb az eredmény (ha negatív, akkor hibázott az erdő):

$$mg(\mathbf{X}, Y) = avg_k I(h_k(\mathbf{X}) = Y) - max^{j \neq Y} (avg_k I(h_k(\mathbf{X}) = j)) \quad (19)$$

ahol: \mathbf{X} : a bemeneti vektorok, Y : a hozzájuk tartozó osztályok.

A döntési fák általánosítási hibája (Generalization Error):

$$PE = P_{\mathbf{X}, Y}(mg(\mathbf{X}, Y) < 0) \quad (20)$$

Megadható felső korlát a véletlen erdő általánosítási hibájára. Ez függ a döntési fák pontosságától és a fák közötti korrelációtól:

$$PE \leq \rho(1 - s^2)/s^2 \quad (20)$$

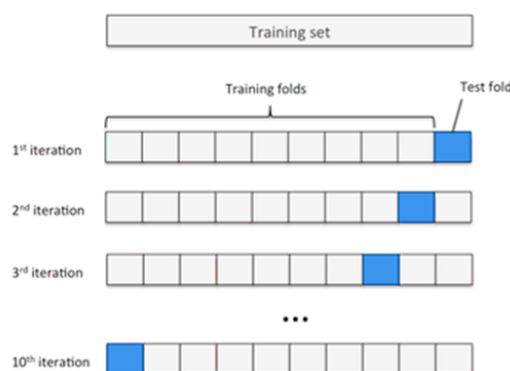
ahol: ρ az átlagos korreláció a fák között, és s a $h(\mathbf{x}, \theta)$ klasszifikátor halmaz ereje:

$$s = E_{\mathbf{X}, Y} mg(\mathbf{X}, Y) \quad (21)$$

[56]

6.3 A keresztvalidáció

A kidolgozott klasszifikációs modell keresztvalidálásához N-fold (vagy egyes szakirodalmakban „k-fold”) eljárást alkalmaztam. N-fold eljárás esetén a modell számára ismeretlen, de ismert címkéjű adatpontokon végezzük a vizsgálatot:



23. ábra Az N-Fold működésének szemléltetése [57]

Az N-fold keresztvalidációs eljárás során az adathalmaz n (a 23. ábrán $n = 10$) véletlenül kiválasztott részre tagolódik. Egy rész lesz az úgynevezett validálási rész vagy „test fold”, és

n-1 rész lesz a tanulórész vagy „training fold”. A modell tanulási folyamata során minden rész egyszer „validation set” lesz, tehát összesen n-szer fut le a tanulási folyamat. Az így kapott n eredmény átlaga lesz a végső modell.

6.4 Keveredési mátrix

Egy n osztályos K klasszifikátor $K \in R^{n \times n}$ keveredési mátrixa az R rekordhalmazra nézve:

$Ke_{ij} = |\{r_k \in C_j | K(r_k = i)\}|$, C_j a j osztályba tartozó halmaza. Példa egy keveredési mátrixra:

		Valós osztály		
		a	b	c
Jósolt osztály	a	10	0	1
	b	2	5	0
	b	0	3	9

Táblázat 4. Példa egy keveredési mátrixra [54]

Kétosztályos klasszifikátor esetén az egyes mezőkre külön jelölést bevezetve (a hazai és nemzetközi szakirodalomban elterjedt) angol elnevezésük szerint:

		Valós osztály		
		1	0	Σ
Jósolt osztály	1	TP	FP	P
	0	FN	TN	N

Táblázat 5. Mezőelnevezés bevezetése,
ahol T = True, igaz; F = False, hamis;
P = Positive, pozitív; N = Negative, negatív

A Táblázat 5. alapján definiálható az úgynevezett „true positive rate”, azaz a pozitív osztálybeliekre vett pontosság:

$$TPR = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (22)$$

illetve a „false positive rate”, azaz a negatív osztálybeliekre vett hiba:

$$FPR = \frac{FP}{(FP + TN)} \quad (23)$$

6.5 A ROC görbe

A K klasszifikátor jellemzően nem csak egy osztályt ad vissza, hanem annak az eloszlását is, hogy a létrehozott modell szerint mekkora valószínűséggel tartozik adott rekord az egyes osztályokba. A valószínűségek összege 1 kell, hogy legyen, ezért bináris célváltozó esetén egy számmal is jellemezhető a feltételezett eloszlás: az „1” osztályba tartozás modell szerinti valószínűségével $K(x)$ -szel jelölve a függvényt, az a következő alakú lesz:

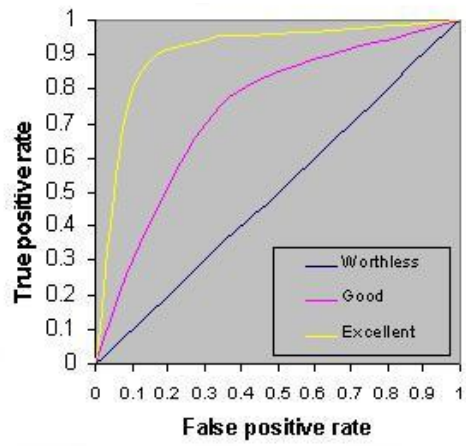
$$K(x) = \begin{cases} 1, & \text{ha } K^*(x) \geq t \\ 0, & \text{ha } K^*(x) < t \end{cases} \quad (24)$$

ahol: t konstans, melyet a klasszifikátor választ ki.

A t konstans az úgynevezett „trashold”, amely érték ha megfelelően nagy, akkor minden egyed 0 osztályú lesz, azaz $FPR = 0$; $TPR = 0$. Ha viszont megfelelően kicsi, akkor $TPR = 1$ és $FPR = 1$. t változtatásával a $[0; 1] \times [0; 1]$ négyzetben ábrázolhatók a két mutató értékei: az FPR értéket az x, a TPR értéket az y tengelyen megjelenítve.

Az FPR és a TPR csak véges sok értéket vehet fel, amiből következik, hogy az eredmény véges sok pont lesz. Ezeket t szerint sorban, egyenes szakaszokkal összekötve alkotják a (Receiver Operating Characteristic) ROC görbét.

A ROC görbe alatti terület hazai és nemzetközi szakirodalomban elfogadott megnevezése az (Area Under Curve) AUC. Ha egy klasszifikátor k^* értékek szerint rendezett lista elejére helyezi a „0” osztályba tartozó egyedeket, és végére az „1” osztályba tartozókat, akkor lesz olyan t érték, amely mentén határvonalat húzva a rekordok osztályozhatóak [54].

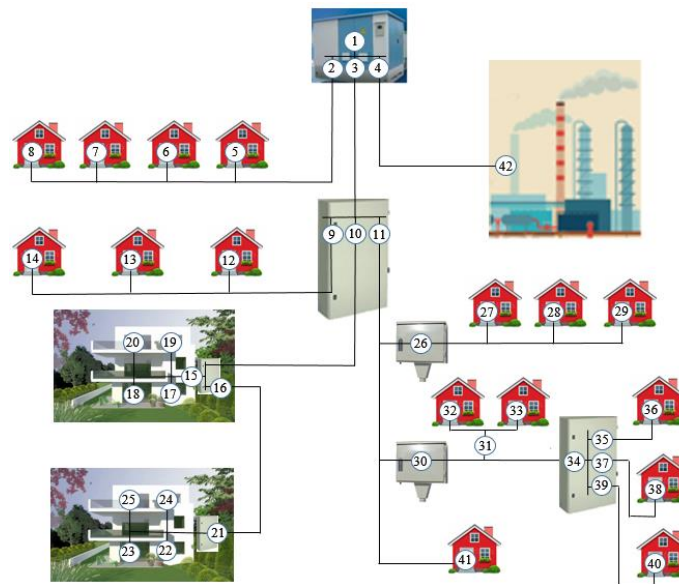


24. ábra Jellemző ROC görbék és értékelésük [54]

KUTATÁSI EREDMÉNYEK

7 Hálózati hibák által érintett fogyasztói szám determinálása

Az 1.2.3 fejezetben ismertetett okok miatt szükségesnek ítélttem egy olyan eljárás kidolgozását, amely – a mai (a 4.1 fejezetben is ismertetett) adatbázisok és rendszerek által adminisztratív eszközökkel meghatározott – adott KIF-hálózati berendezés meghibásodása által érintett fogyasztók számát topológiai elemzéssel validálni képes. Ehhez az 5.1 fejezetben bevezetett módon a KIF-hálózatot gráfként értelmeztem, melynek lehetséges hibahelyei (azaz a KIF-hálózat elemei) a csomópontok, az azokat összekötő villamos kapcsolatok pedig az élek. Az eljárás során a zárlati áram nélküli szakadásos hibákat (azok elhanyagolható megjelenési valószínűsége miatt) figyelmen kívül hagytam.



25. ábra KIF-hálózat szemléltetése [10]

A 25. ábrán az 5–8, 12–14, 17–20, 22–25, 27–29, 32, 33, 36–42 pontok a végfelhasználók, az 1-es pont a KÖF/KIF-transzformátorállomás, a 2–4 pontok a KÖF/KIF-transzformátorállomás KIF oldalán lévő, a 9–11, 15, 16, 21, 26, 30, 34–39 pontok pedig a KIF-hálózaton „elszört” elosztószekrények.



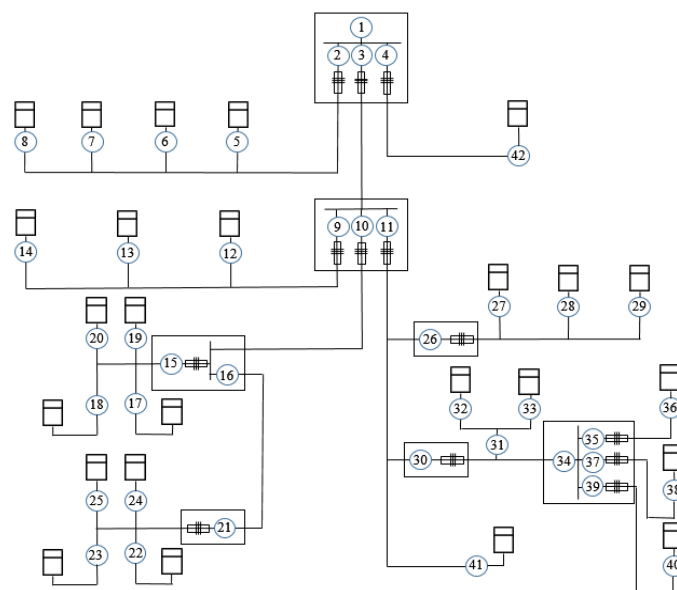
a)

b)

26. ábra Beltéri KÖF/KIF-transzformátorállomásban elhelyezett beltéri (a) és kültéri (b) KIF-elosztószekrény (saját ábra)

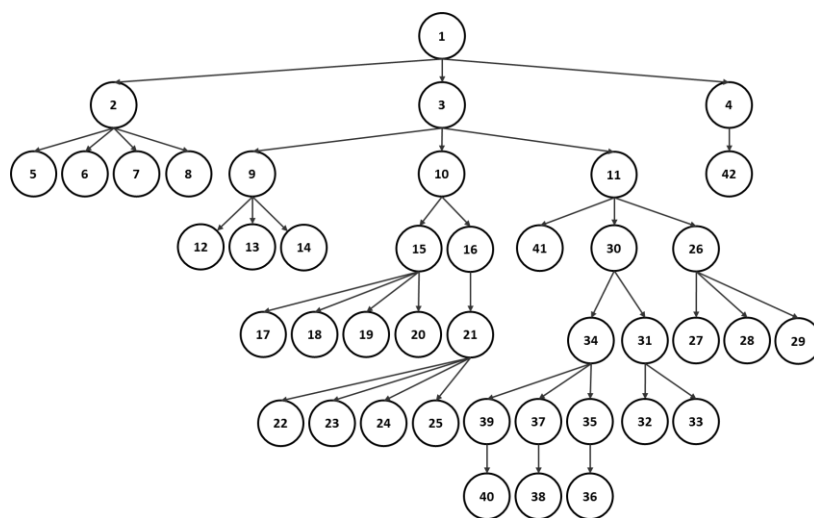
Az 26. ábrán szereplő saját készítésű fényképek szemléltetik a megvalósított elosztószekrényeket. A berendezéseken jól látszik a mátrixszerűen elhelyezkedő három fázis (vízszintesen, sorok) és a kimenő áramkörök (függőlegesen, oszlopok). A bejövő kapcsolatot az 26. ábra a) fényképén a berendezés tetején látható zöld-sárga-piros fázisjelölővel ellátott kábel biztosítja. A bejövő kábel az 26. ábra b) kép bal oldalán lévő csukott szekrényben helyezkedik el.

Az 25. ábrán KIF-hálózati szemléltető példájának egyvonalas villamos vázlatja a következő:



27. ábra Egy jellemző KIF-hálózat egyvonalas villamos rajza [58]

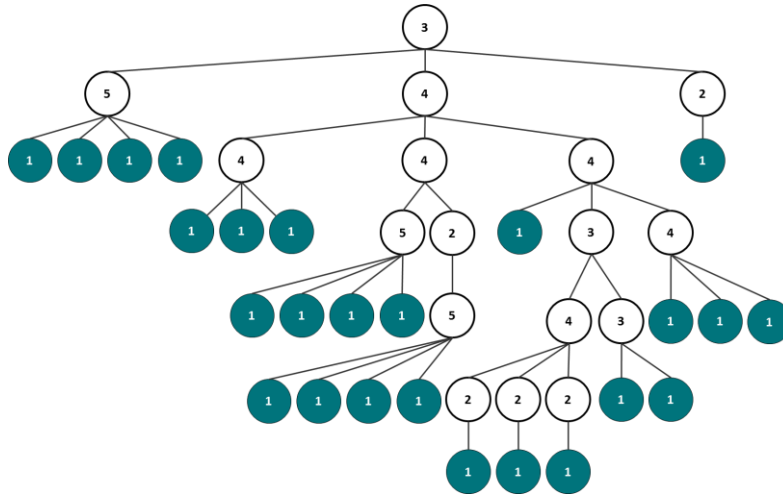
A 27. ábra berendezéstípusonként mutatja meg a KIF-elosztóhálózat legfőbb elemeit, a KÖF/KIF-állomásokat (1), az elosztószekrényeket (9–11, 15, 16, 21, 26, 30, 34–39), az olvadóbiztosítókat (2–4, 9–11, 15, 21, 26, 30, 35–39) és villamosfogyasztás-mérőket (5–8, 12–14, 17–20, 22–25, 27–29, 32, 33, 36–42). Jól látszik, hogy nincs minden egyes hálózati elágazásban berendezés. Például az 5–8 berendezések közvetlenül a 2 csomópontoz kapcsolódnak, nincs külön elosztószekrény az egyes elemek között. Ezek az elemek a topológiában egymás mellett fognak elhelyezkedni. Amennyiben két berendezés között további berendezés van, akkor az a berendezés új szinten fog elhelyezkedni. Például a 17–20 berendezések és a 10 jelölésű eszköz között elhelyezkedő 15-ös pont. A 28. ábrán a 27. ábra villamos hálózatának kapcsolatait leíró gráf modellje a fentieknek megfelelően:



28. ábra Egy jellemző KIF-hálózat gráfja (saját ábra)

A 28. ábrán a gráf modellezi a KIF-példahálózat berendezései közötti kapcsolatot. A létrehozott gráfmodell gyökeres fa, melynek gyökere az 1 csomópont. A 28. ábráról leolvasható, hogy az egyes csomópontok által reprezentált hálózati elem mely további elemekre van hatással. Például a 2 csomópont meghibásodásával az 5–8 csomópontok is ellátás nélkül maradnak.

A 29. ábrában a 28. ábrán lévő gráf egyes csomópontjaiban az adott csomópont sorszama helyett annak fokszáma került feltüntetésre:



29. ábra A KIF-hálózati gráf, csomópontokban fokszámmegjelöléssel (saját ábra)

A 29. ábrán kék színnel kerültek megjelölésre a végfelhasználók. Megfigyelhető, hogy minden végfelhasználónak – de csak a végfelhasználóknak – a fokszáma 1.

7.1 A CONAM mátrix

Az elérhetőségi mátrix a fogyasztószám meghatározására átalakítás nélkül nem alkalmas. Irányított gráfmodell esetén az elérhetőségi mátrixszal az meghatározható, hogy mely hálózati elemek lesznek érintettek az adott csomópont meghibásodása esetén, de nem áll rendelkezésünkre az az információ, hogy az érintett csomópont végfelhasználó-e.

Ha a \mathbf{Z} elérhetőségi mátrixot felhasználva bevezetem a CONAM \mathbf{C} mátrixot, amelynek neve fogyasztószám-meghatározás elérhetőségi mátrix (CONsumer Numbers with Attainability Matrices), és elemei:

$$C_{ij} = \begin{cases} n, & \text{ha } p_i \text{ csúcsából } p_j \text{ szögpont elérhető} \\ 0 & \text{minden más esetben} \end{cases} \quad (25)$$

ahol: n C_{ij} csomópont fokszáma, akkor tetszőleges p meghibásodott csomópont által érintett végfelhasználók száma az alábbi módon határozható meg:

$$\mathbf{F} = \sum_{i=1}^n \mathbf{C}_{ij}^{(C_{ij}=1)} \Big|_{i=F} \quad (26)$$

Azaz a mátrix oszlopai értékeinek összegzéséből csak azok az értékek kerülnek összegzésre, melyeknek értéke fokszáma alapján 1. A módszert CONAM módszernek neveztem el.

7.2 A CONAM módszer három fő lépése

A CONAM módszer három fő lépésből áll:

- 1) Az elérhetőségi mátrix (\mathbf{Z}) meghatározása, melynek z_{ij} értékei, a (13) egyenlet alapján:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ha } p_i \text{ csúcsból } p_j \text{ szögpon} \text{t elérhető} \\ 0 & \text{minden más esetben} \end{cases} \quad (27)$$

$A_{m \times m}$ szomszédossági mátrixának ismeretében a $Z_{m \times m}$ elérhetőségi mátrixa a (14) egyenlet alapján:

$$\mathbf{Z} = \text{sign} \sum_{n=1}^m A^n \quad (28)$$

ahol:

$$\text{sign } \eta = \begin{cases} 1, & \text{ha } \eta > 0 \\ 0, & \text{ha } \eta = 0 \\ -1, & \text{ha } \eta < 0 \end{cases} \quad (29)$$

- 2) Az elérhetőségi mátrixot (\mathbf{Z}) felhasználva a CONAM mátrix (\mathbf{C}) előállítás, c_{ij} értékei, a (25) egyenlet alapján:

$$C_{ij} = \begin{cases} n, & \text{ha } p_i \text{ csúcsából } p_j \text{ szögpon} \text{t elérhető} \\ 0 & \text{minden más esetben} \end{cases} \quad (30)$$

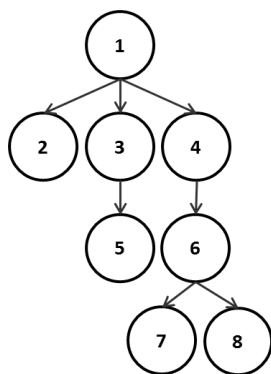
ahol: n a Z_{ij} szögpon} fokszáma.

- 3) A csomópont meghibásodása által érintett végfelhasználók számának meghatározása a (26) egyenlet alapján:

$$\mathbf{F} = \sum_{i=1}^n C_{ij}^{(C_{ij}=1)} \Big|_{i=F} \quad (31)$$

7.3 A CONAM mátrix példán keresztül történő bemutatása

A CONAM metódu} bemutatására egy egyszerűsített KIF-hálózatot leíró, a gyökértől a levélc}omópontok irányába irányított gráf modellje:



30. ábra A CONAM módszer bemutatását szolgáló példagráfmodell (saját ábra)

A példagráfot leíró \mathbf{A} szomszédossági mátrix:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Az \mathbf{A} mátrix főátlójába 0 értékek kerültek. A gráf, melyet az \mathbf{A} mátrix leír irányított, számkiosztása fentről lefelé növekvő volt, így a főátló feletti értékek nem lehettek nullától különbözőek.

Az \mathbf{A} mátrixból a \mathbf{Z} szomszédossági mátrix a (14) egyenlet alapján:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

A mátrix elemeinek értékei a (14) egyenlet alapján akkor lesznek egyenlők 1-gyel, ha adott csomópontból egy másik csomópont elérhető. Például a $z_{6,1}$ értéke 1, mivel az 1 csomóponttól elindulva irányítottan fentről lefelé haladva van olyan út, mellyel a 6 csomópont elérhető. Ezen irányítottság miatt lett pl. a $z_{1,6}$ értéke 0, ahogyan a $z_{2,4}$ is.

A (25) egyenletek megfelelően a \mathbf{Z} mátrixból a \mathbf{C} mátrix:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (34)$$

A \mathbf{Z} és \mathbf{C} mátrix alapfelépítése megegyezik: azon helyeken, ahol nincs – az ismertett módon – elérhetőség, ott az érték 0, ahol van elérhetőség, ott nem nulla. A különbség, hogy a \mathbf{Z} mátrix esetében az elemek értéke 1, míg a \mathbf{C} mátrix esetében az elért csomópont fokszáma.

E definícióból következik, hogy a \mathbf{C} mátrix minden sorában csak egy adott természetes szám vagy 0 szerepelhet. Például a (34) egyenletben a 30. ábra példagráfot leíró \mathbf{C} mátrix 6. sora csak 3 vagy 0 értéket tartalmazhat, mivel ha az adott csomópontból (oszlopból) elérik a 6. sort, akkor annak fokszáma, azaz 3 lesz az érték, ha nem érik el, akkor pedig 0.

A (26) egyenlet alapján a \mathbf{C} mátrixból tetszőleges csomópontra megadható, hogy annak meghibásodása esetén mekkora a végfelhasználói kiesés:

$$F_i = \begin{cases} F_1 = 4 \\ F_2 = 0 \\ F_3 = 1 \\ F_4 = 2 \\ F_5 = 0 \\ F_6 = 2 \\ F_7 = 0 \\ F_8 = 0 \end{cases} \quad (35)$$

F_i megmutatja tehát, hogy ha az i -edik elem meghibásodik, akkor az hány darab fogyasztó szolgáltatásból való kiesésével fog járni.

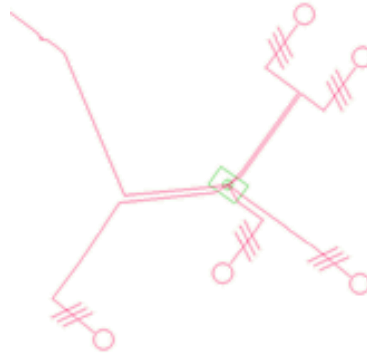
A (35) egyenlet eredményeiben F_i értéke minden fogyasztó esetében 0. Ez megegyezik a várt eredménnyel, hiszen ha egy fogyasztónál meghibásodás történik, az nincs hatással további fogyasztókra. A kiefeszültségű villamosenergia-rendszert leíró fa struktúrájú gráfból következik, hogy $F_i = 0$ érték csak és kizárólag fogyasztók esetében lesz.

A (33) egyenletben megjelenített \mathbf{Z} mátrixról leolvasható, hogy a 4 csomópontot leíró 4. oszlop értékei közül a [4;6], a [4;7] és [4;8] értékek egyesek, míg a többi érték a 4. oszlopban 0. Ez azt jelenti, hogy – a 30. ábráról is leolvasható – 4 csomópontból kiindulva, fentről lefelé haladva három csomópont érhető el, a 6, a 7 és a 8 számmal jelöltek.

A (34) egyenletben megjelenített C mátrixról leolvasható, hogy a 6, a 7 és a 8 csomópont közül csak kettőnek, a 7-nek és a 8-nak a fokszáma 1, ami a 30. ábra leolvasásából várható érték.

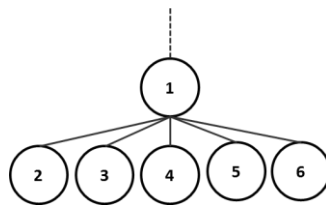
Az EÉGIS rendszeréből származó adatokból létrehoztam egy új villamosenergia-átviteli és elosztóhálózati gráfmodellt (átviteli és elosztóhálózati modell, Transmission and Distribution Network model, TDN_m). A modellt a hálózattudomány eszközeivel elemeztem, majd az elemzés eredményei alapján mintát készítettem, amelyen a CONAM módszer validálásra került.

A KIF-hálózat topológia feltérképezésére a GPS adatokkal kiegészített hálózati adatokat használtam fel. (31. ábra), kihasználva azt, hogy az egyes hálózati csomópontok a grafikus megjelenítéskor egy pontba kerültek. A 32. ábra egy ilyen összekapcsolódási példát mutat meg:



32. ábra A koordináták egybeesését szemléltető KIF-hálózatrészlet az EÉGIS rendszerben (saját ábra)

A 32. ábrán látható zöld téglalap egy KIF-elosztószekrény, amelybe egy lila kifesztésű kábel fut be, és 5 fut ki (végeiken háromfázisú csatlakozókábelek). A 32. ábrán bemutatott részlet gráfmodellben:



33. ábra KIF-hálózatrészlet felépítése gráfmodellen (saját ábra)

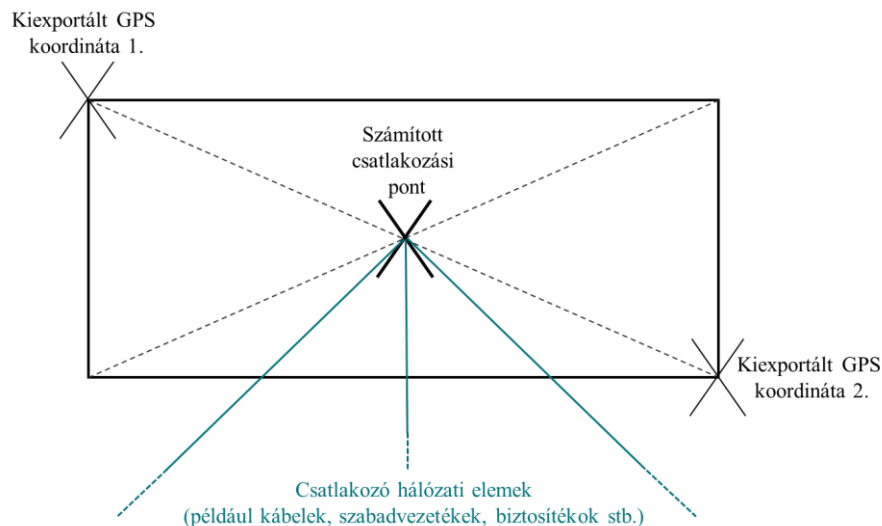
A 33. ábrán az 1 csomópont az elosztószekrény, míg a 2–6 csomópontok, az 5 csomópont a végfelhasználó.

Az KIF-hálózatot a GPS koordináták kiexportálása után C++ programnyelv²¹ alkalmazásával kirajzoltattam. Ezt mélységi bejárással [59] elemezve építettem fel az adat- és kapcsolati táblákat.

²¹A C++ egy általános célú, magas szintű programozási nyelv. Támogatja a procedurális, az objektumorientált és a generikus programozást, valamint az adatabsztrakciót [60].

8.1. Az elosztószekrények koordinátájának meghatározása

Az exportált adatok az elosztószekrények grafikus helye két ellentétes sarkának koordinátáját tartalmazzák az EÉGIS adatbázisból. Az elosztószekrényekhez csatlakozó hálózati elemek viszont a grafikus elem középpontjához csatlakoztak (lásd: 34. ábra). A hálózatelméleti modell szempontjából a csatlakozási pontok koordinátájának volt jelentősége, ezért szükség volt az elosztószekrények középpontjainak meghatározására.



34. ábra Az elosztószekrény számított koordinátpontja (saját ábra)

A középpont az elosztószekrény két ellentétes sarkának koordinátáiból, az átlók metszéspontjának kiszámítása által lett definiálva. Az NDB-ben ez a számított metszéspontérték lett kapcsolódási pontként megadva. Ebbe a pontba kapcsolódnak a biztosítók, kábelek, szabadvezetékek stb.

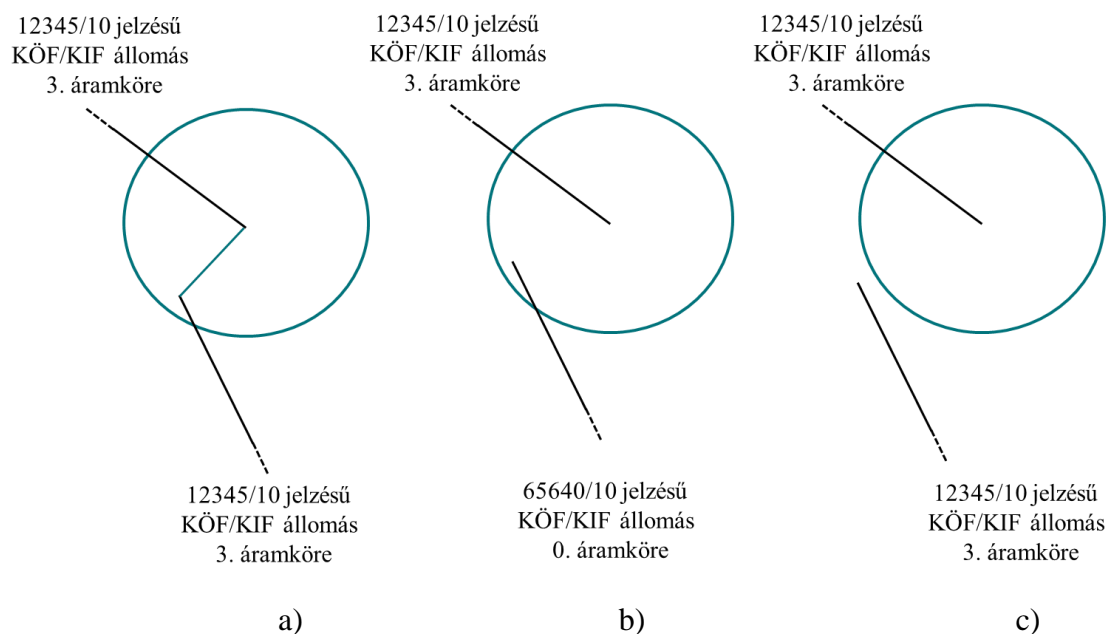
8.2 Verifikálás és validálás

A létrehozott adatbázis helyességének ellenőrzését grafikus megjelenítés tette lehetővé. A visszaellenőrzések során az eredeti EÉGIS rendszer és az elkészült modell grafikus megjelenítése került összehasonlításra. Ezen művelet során derült fény arra, hogy a kiefeszültségű hálózaton belül eltérések vannak a koordinátákban. Bizonyos elemek végpontja és a következő elem kezdőpontja ~5%-ban eltér. Ez problémát jelentett, mivel a mélységi bejárást a koordináták teljes egyezőségére alapoztam. A probléma megoldására a kapcsolati tér fogalma került bevezetésre.

8.3 A kapcsolati tér

A kapcsolati tér az a tér, amelyben bizonyos feltételek teljesülése esetén a modell két eleme akkor is összeköttetésre kerül, ha a két elem között nincs semmilyen kapcsolat definiálva a kiexportált EÉGIS adatbázisban. Ilyen tér került definiálásra minden olyan KIF-áramkör utolsó pontjára, amely nem fogyasztóval végződött (35. ábra).

Az EÉGIS rendszerből az egyes elemek GPS koordinátái mellett azok hálózati adatai is kiexportálásra kerültek. Ez tette lehetővé azt, hogy a KIF-hálózat áramköri szinten beazonosítható legyen, azaz hogy mely elemeknek kellene valamilyen topológia mentén egymáshoz kapcsolódniuk.



35. ábra A kapcsolati tér szemléltetése (saját ábra)

A programrész a kapcsolati térben felismerte az összetartozó áramköröket, és a megjelenítésben egy fiktív hálózati elemmel összekapcsolta azokat (35. ábra a), zöld vonal). Abban az esetben, ha egy kapcsolati térbe két áramkör végződése esik, de az adatbázis további hálózati információi alapján megállapítható, hogy nem tartoznak össze, a program nem kapcsolta össze azokat (35. ábra. b)). A harmadik eset, amikor a két független áramkör vége nem esik egy kapcsolati térbe, ezért ezeket sem kapcsolta össze a program (35. ábra c)).

8.4 A végfelhasználók kapcsolati adattáblái

Az ügyfelek az általuk igényelt villamos teljesítménytől függően a KIF-, a KÖF- és közvetlenül akár a NAF-hálózatról is vételezhetnek villamos energiát. A különböző feszültség szintekre való kapcsolódás esetén más és más technológia feltételezhető.

A KIF-hálózatra jellemzően lakossági vagy kisebb vállalati fogyasztók kapcsolódnak. Számukra a hálózathoz csatlakozáshoz elég egy az áramszolgáltató által telepített (az EÉGIS nyilvántartásának megnevezése szerinti néven) csatlakozó kábel. A nagyobb ipari fogyasztóknak (pl. kórházak, bevásárlóközpontok, nagyobb üzemek stb.) jellemzően csak saját igényüket kiszolgáló, saját tulajdonú KÖF/KIF-állomásuk van. Ők az úgynevezett sínfogyasztók. A legnagyobb gyárak és ipari csarnokok már saját tulajdonú NAF-állomással rendelkeznek.

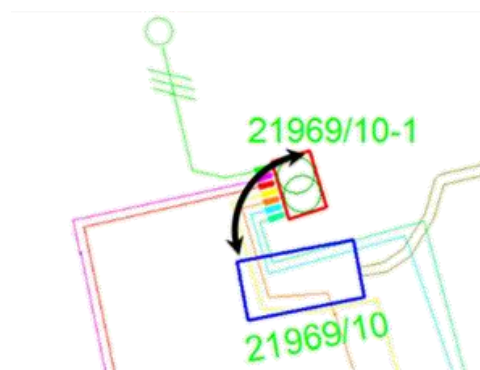
A TDNm szempontjából ez azt jelenti, hogy minden feszültség szinten szükséges fogyasztókat hozzárendelni az egyes hálózati elemekhez. Szükséges tehát az az adat, hogy az egyes hálózati elemekhez hány darab fogyasztó tartozik. Ez határozta meg, hogy a TDNm legalsó szintje az egyes ágakon milyen széles legyen.

Ezen adatokat az áramszünettel járó tervezett karbantartások fogyasztói értesítéséhez használatos adatbázisból bocsájtotta az ELMŰ-ÉMÁSZ rendelkezésekre. Az áramszünettel járó tervezett karbantartások esetén ugyanis az áramszolgáltatónak jogszabályban foglaltak szerint [61] értesítenie kell az érintett fogyasztókat. Ehhez szükséges egy olyan adatbázis üzemeltetése, amely az egyes hálózati elemek kikapcsolásakor az érintett fogyasztók listáját megadja. Megjegyzendő, hogy ez éppen az az adatbázis, amelynek adatminőségén a CONAM módszer javítani kíván. Jelenleg ez az elérhető legpontosabb lista, az ELMŰ-ÉMÁSZ operatív működése ez alapján történik. Az adatbázis topológiaiilag helyes.

8.5 A KÖF/KIF feszültszintek közötti kapcsolati adattábla

Az EÉGIS rendszerben a GPS adatok nem az egyes elemek fizikai valóságban való elhelyezkedését jelölik, hanem a vizuális megjelenítési felületen az egyes objektumok helyét. Ebből következik, hogy a koordináták nem a fizikai valóságnak való megfeleltethetőségre vannak optimalizálva, hanem a generált térkép átláthatóságára, felhasználhatóságára.

Ezért jellemzően az egyes hálózati elemek elhelyezkedésének koordinátái a különböző feszültszinteket összekötő elemeknél a grafikus megjelenítés során nem azonosak. Erre mutat példát a 36. ábra:



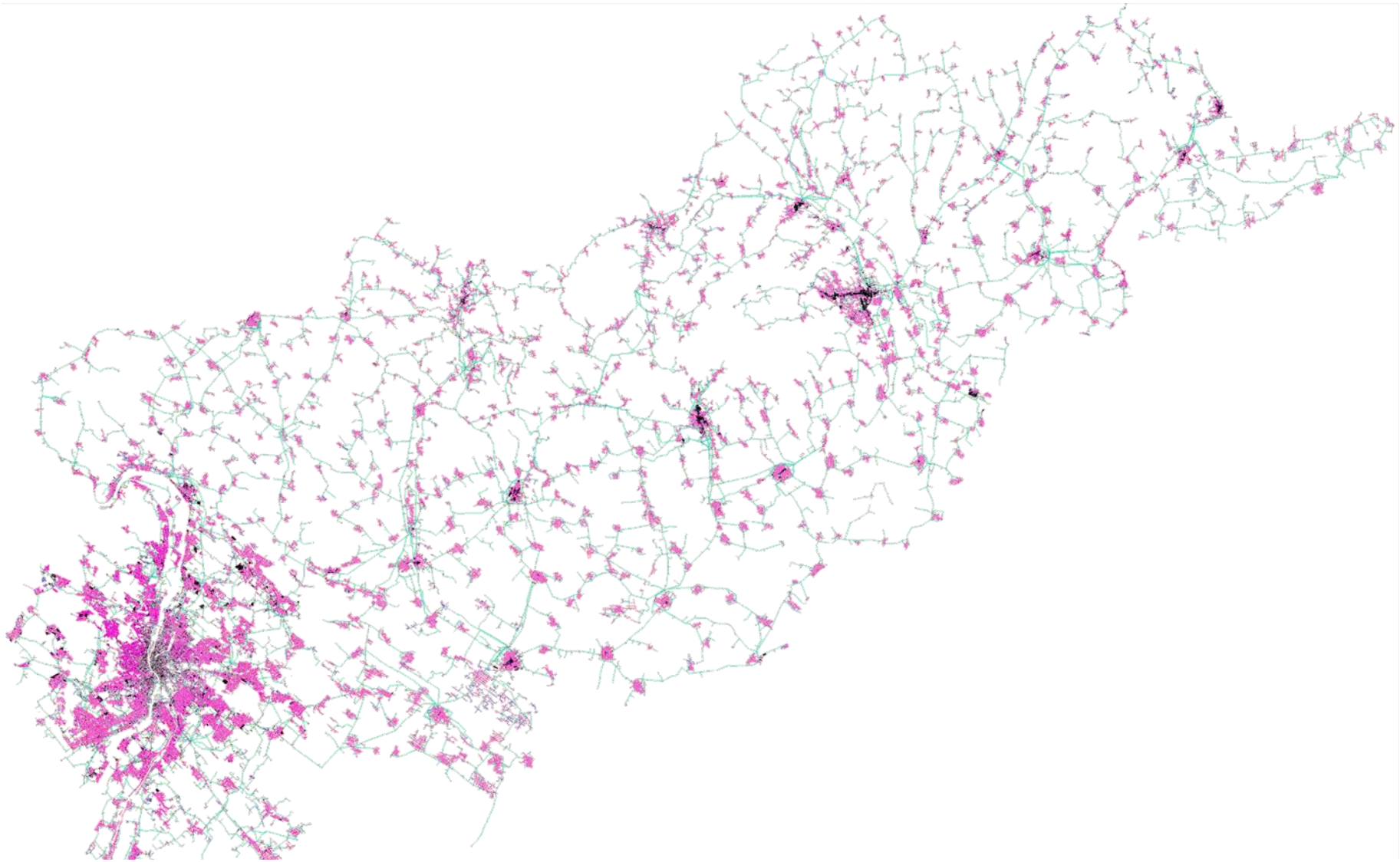
36. ábra A koordináták különböző feszültszinteken való eltolódásának szemléltetése (saját ábra)

A 36. ábrán a piros téglalap a 21969/10 egyedi azonosítójú KÖF/KIF-állomás megjelenítése KIF-nézetben, míg a kék négyzet ugyanez a 21969/10 egyedi azonosítójú KÖF/KIF-állomás KÖF-nézetében. Az azonosság miatt a kék téglalap bal felső sarkának koordinátája és a piros téglalap jobb felső koordinátája (a fekete nyíllal jelzett két sarok) meg kellene, hogy egyezzen. Ezért a modell alkotásakor a KÖF/KIF feszültszintek közötti váltások nem GPS koordináta alapján, hanem a NAF/KÖF-höz hasonlóan adatbázis kapcsolati alapon kerültek létrehozásra.

8.6 A TDNm modell vizualizációja

A különböző adatkapcsolati és hálózatstruktúrákat leíró táblákat az R szoftverben kapcsoltam össze. Az összefűzés után a TDNm vizualizációja következett.

A hálózatvizualizációval a cél az adatbázis-felépítés helyességének validálása volt (lásd: 7.3.2 fejezet). Mindemellett természetesen az elvégzett munka látványos megjelenítésére is szolgált:



37. ábra A TDNm grafikus megjelenítése (saját ábra)



38. ábra A TDNm grafikus megjelenítése (Budapest) (saját ábra)



39. ábra A TDNm grafikus megjelenítése (Budapest, belváros) (saját ábra)

A 37. ábrán a TDNm grafikus megjelenítése látható C++ programnyelv alkalmazásával. Az ábrán a teljes ELMŰ-ÉMÁSZ látható. A 38. ábrán Budapest városának, a 39. ábrán pedig Budapest belvárosának ablakkal kiemelése és nagyítása a TDNm vizuális megjelenítéssel. A grafikus megjelenítés felépítése – a fentebb részletezett validálási mód megvalósíthatósága érdekében – GPS koordináták alapján készült [62, 63, 64].

A TDNm-ről további, a TDNm kapcsolatain (nem pedig a GPS koordinátákon) alapuló grafikus megjelenítések láthatóak a 3. mellékletben.

8.7 A TDNm modell tulajdonságai

A TDNm tulajdonságait az R szoftver beépített moduljai segítségével állapítottam meg. Ezek alapján:

Tulajdonság	Értékek (db)
Fogyasztók száma	2 572 147
Maximális fokszám	1 254
Átmérő	36
Átlagos legrövidebb távolság	5,01
Klaszterezettségi együttható	0,00001
Átlagos fokszám	17

Táblázat 6. A TDNm tulajdonságai

A hálózat méretét jól mutatja, hogy 2 572 147 végfelhasználót, azaz 1 fokszámú csomópontot tartalmaz. Megjegyzendő, hogy sem a magyar, sem a nemzetközi szakirodalomban nem lelhető fel ekkora méretű – villamos hálózati adatokon alapuló – modell.

A modell maximális fokszámának 1254 értéke azt jelenti, hogy egy adott csomóponthoz maximálisan 1254 hálózati elem csatlakozik közvetlenül.

A modell átmérője 36-os értéket mutat, ami a két legtávolabbi csomópont közötti legrövidebb úthossz maximuma.

A modell átlagos legrövidebb távolsága 5,01. Ez a csomópontok közötti legrövidebb távolságok átlagát mutatja.

A klaszterezettségi együttható vagy más szóval csoportosulási együttható 0,00001, ami azt mutatja meg, hogy mekkora valószínűséggel van egy adott csomópont összekötve a szomszédos csomóponttal.

A mintavételezés számára legfontosabb mutató, az átlagos fokszám 2,017, ami azt jelenti, hogy egy csomópontnak átlagosan valamivel több mint 2 másik csomóponttal van kapcsolata. A mintagráf tehát annál jobban reprezentálja a teljes TDNm-et, minél inkább közelít a kettőhöz annak átlagos fokszáma.

TÉZIS I.

Létrehoztam a TDNm (Transmission and Distribution Network model) gráf modellt, amelynek alkalmazásával lehetővé vált a villamosenergia-átviteli és villamosenergia-elosztóhálózati rendszer topológiai szintű analízise.

9 A CONAM módszer validálása

A TDNm topológiai adatait – R szoftver segítségével – megmérve mintát készítettem (Sample of the Transmission and Distribution Network model, STDNm). Az eljárás során sikerült egy olyan, a TDNm-nek megfelelő topológiájú modellt kialakítani, amely adminisztratív módszerekkel kezelhető, azaz a mai áramszolgáltatói gyakorlatnak megfelelően szabad kézzel felírhatóak az i csomópontokhoz tartozó F_i adatok. Az STDNm-en végrehajtottam a CONAM módszert, melynek végeredményét összehasonlítottam az adminisztratív, manuális módon előállított \mathbf{F} oszlopmatrix adataival.

9.1 Az STDNm tulajdonságai

Az STDNm tulajdonságait – az R szoftver segítségével – a TDNm-mel megegyező módon határoztam meg. Az STDNm és a TDNm mérési eredményeit a *Táblázat 7.* foglalja össze.

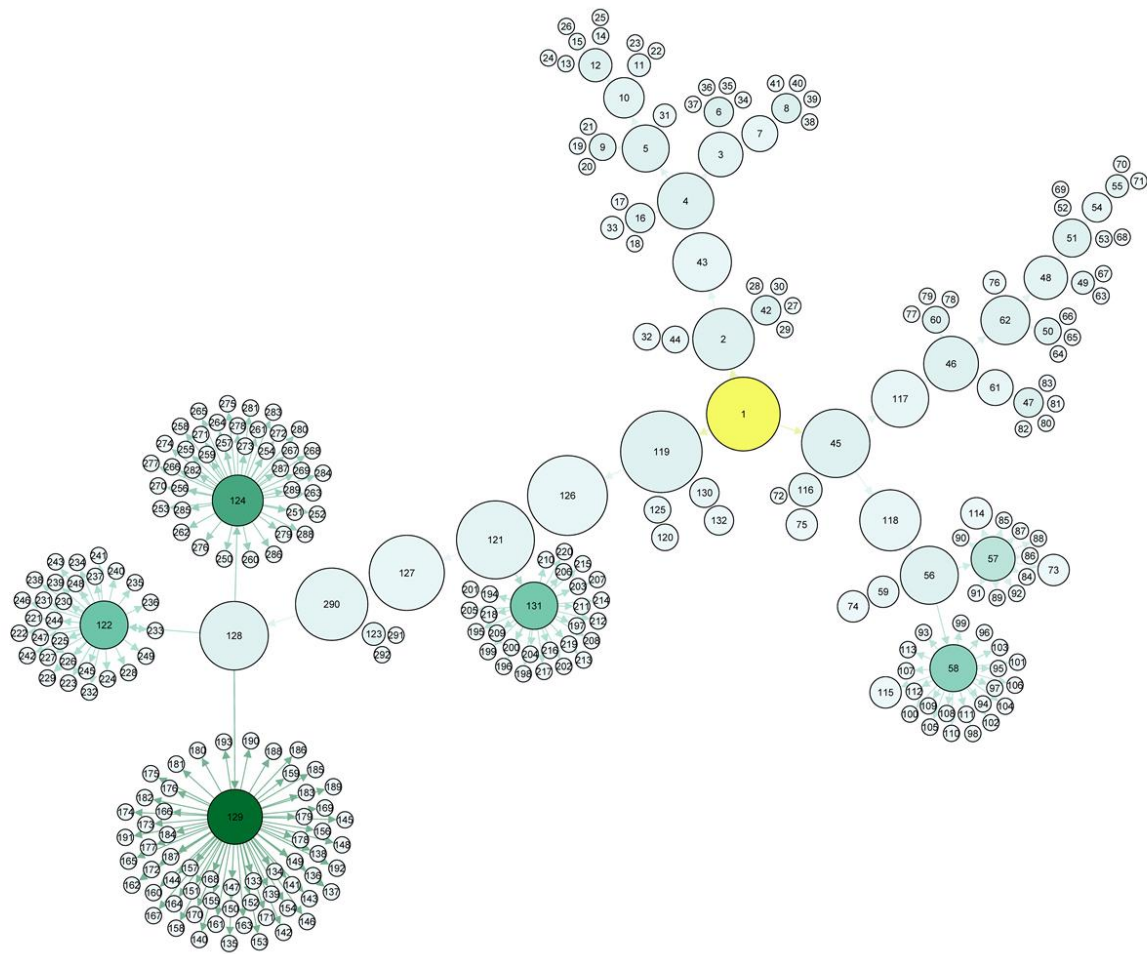
	STDNm	TDNm
Fogyasztók száma	292	2 572 147
Maximális fokszám (db)	62	1 254
Átmérő	9	36
Átlagos legrövidebb távolság	6,92	5,01
Klaszterezettségi együttható	0	0,00001
Átlagos fokszám	1,993	2,017

Táblázat 7. A teljes (TDNm) és a mintamodel (STDNm) mérési eredményei

Az 5.2 és 8.7 fejezetekben ismertetettek alapján, mivel az STDNm és a TDNm hálózat átlagos fokszámértékei között statisztikai hibahatáron belüli (0,024) a különbség, kijelenthető, hogy topológiai értelemben az STDNm validálásra került.

Az STDNm grafikusán is ábrázolásra került, melyhez a Gephi²² szoftvert alkalmaztam:

²²A Gephi egy nyílt forráskódú hálózatelemző és -ábrázoló szoftvercsomag, melyet Javában írtak NetBeans platformon. [65]



40. ábra Az STDNm grafikus megjelenítése (saját ábra)

A 40. ábráról leolvasható, hogy az STDNm csomópontjainak számozása nem hierarchikus. Például a 4-es csomópont az 5-ös csomópont felett helyezkedik el. Ezen rendezetlenséggel a hálózat „élő”, folyamatosan változó mivolta került modellezésre, amely az adminisztratív rendszerekben nem feltétlenül kerül teljes lekötésre.

Az STDNm-en végzett – adminisztratív, manuális úton történt – számítás alapján a $\sum_{i=1}^{292} F_{i_A} = 1767$, azaz a csomópontok meghibásodásából adódó fogyasztói kiesések összege.

TÉZIS II.

Új, CONAM (COnsumer Numbers with Attainability Matrices) eljárást dolgoztam ki a kisműködésű elosztóhálózaton bekövetkezett hibák fogyasztói érintettségének topológiai alapú meghatározására.

10 A SiSS modell

A KIF-hálózaton túlterhelés vagy zárlati áram keletkezésekor az érintett szakaszt védő olvadóbiztosíték kiolvad. Az olvadóbiztosítékok feladata védeni a hálózatot a túláram okozta károsodásoktól.

Ahogy Papp Gusztáv fogalmaz *Amit az olvadóbiztosítókról tudni érdemes* című cikksorozatában: „Az olvadóbetétek a védendő vezetékek, kábelek, motorok, transzformátorok méretéhez képest aprócska eszközök, sőt még a megszakítók mellett is kicsinek nevezhetők. A maguk egyszerű módján így hát Dávidként védik meg a hálózati elemeket az őket fenyegető Góliáttól, a túláramtól.” [66]

Ma az áramszolgáltatók a szakzsargon által „késes biztosító”-nak nevezett, NKI típusú biztosítókat használnak.



41. ábra NKI típusú KIF-biztosítók [67]

A 41. ábrán jól látható mindhárom biztosító tetején és alján is a szakzsargon által „kés”-nek nevezett csatlakozórész. Ezen kések a vezetékrendszerbe „beékelődve”, egy erre kialakított rugós csatlakozóban helyezkednek el:

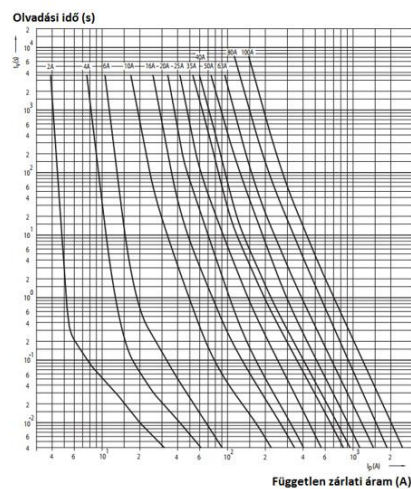


42. ábra KIF-biztosító aljzatban [68]

Az olvadóbiztosítókat névleges feszültségük, névleges áramerősségük, névleges megszakítóképességük, valamint idő-áram kiolvadási jelleggörbéjük jellemzi.

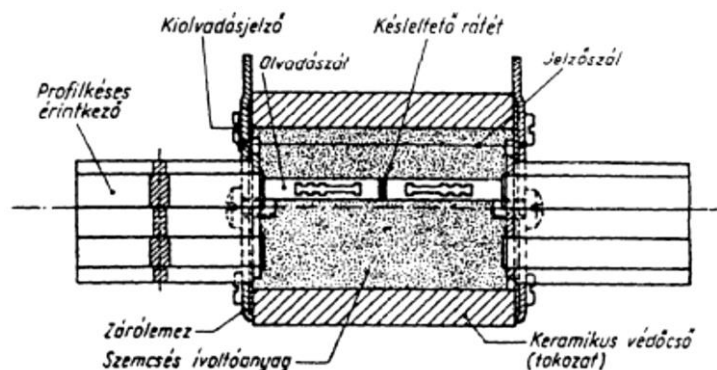
- A névleges feszültség az a legnagyobb üzemi feszültség, amelyen a biztosítót használni lehet.
- A névleges áramerősség az az áramerősség, amellyel a biztosító kioldadás nélkül tartósan terhelhető.
- A megszakítóképeség az a legnagyobb független zárlati áram, amelyet a biztosító adott feszültségnél és adott feltételek mellett meg tud szakítani.

Az egyes típusú olvadóbiztosítók jellemezhetőek kioldási jelleggörbéjükkel, amely a működési időt ábrázolja az átfolyó áram függvényében. Egy ilyen kioldási görbét ábrázol a 43. ábra.:



43. ábra gG kategóriájú késes olvadóbetétek karakterisztikája [66]

Amikor a biztosítón átfolyó áram eléri a kioldási küszöböt, akkor a benne található úgynevezett olvadószal elolvad, amivel az áramkör bontásra kerül:



44. ábra Késes olvadóbiztosító felépítése [69]

A kiolvadás végleges roncsolódással jár, az áramkör megszakadása után a biztosító cserélendő, amiről a kiolvadásjelző ad tájékoztatást a helyszínrre érkező szerelőnek.

Ma még az áramszolgáltatóknak az olvadóbiztosítók kiolvadását távjelző vagy kiolvadás után távolból működtető berendezésük nincs. Egy biztosító kiolvadásáról a szolgáltató csak az áramkörről ellátott fogyasztók valamelyikének (jellemzően telefonos) áramkimaradás-bejelentése útján kap információt.

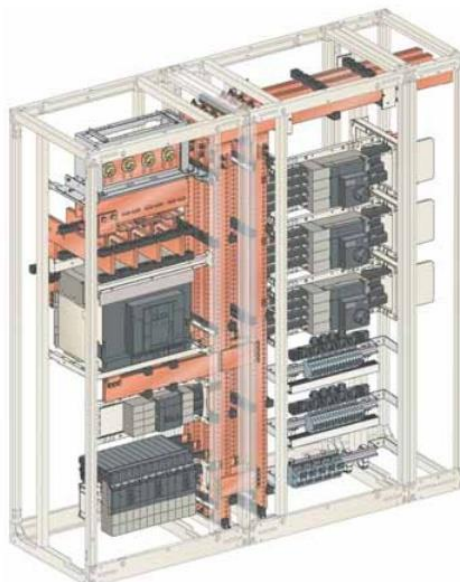
Kutatómunkám során érdekesnek tartottam megvizsgálni az olvadóbiztosítókat helyenként kiváltó – a zárlati áram megszakítására alkalmas – távjelző, távműködtető, visszkapcsoló automatikával rendelkező eszköz alkalmazását, illetve hogy hogyan függ az üzemzavar-elhárítás hatékonysága a telepítendő eszközök darabszámától és a telepítés helyétől, és mekkora a várható hálózati minőségjavulás (SAIDI).

Az olvadóbiztosítók jellemzően kültéri vagy beltéri kivitelű elosztószekrényekben helyezkednek el (26. ábra). Ennek megfelelően a vizsgált új berendezést az intelligens elosztószekrény angol kifejezésének (Smart SwitchBoard) kezdőbetűiből SSB néven vezettem be [70, 71].

10.1 Az SSB

Az SSB definíció szerinti megfogalmazása: olyan – a vonatkozó szabványoknak megfelelő – korszerű kisfeszültségű elosztóhálózati elosztószekrény, amely a gyártó által előírt karbantartási és üzemeltetési körülmények mellett a berendezés teljes élettartama alatt, a berendezés részleges vagy teljes cseréje nélkül szakítja meg a gyártó által megadott áramértékig a túl-, vagy zárlati áramot. A túláram detektálását helyi mérő- és méréskiértékelő rendszer együttes alkalmazásával végzi. A működés előre definiált áram-idő görbe alapján történik. A berendezés távjelző, azaz az egyes mérési pontokon mért feszültség meglétét (igen/nem), a hatásos- és meddőáram-összetevőket, a feszültséget és a felhasználásával számított teljesítményadatokat – a vonatkozó szabványban foglalt biztonsági protokollok alkalmazásával – vezeték nélküli kommunikációt alkalmazva egy központba továbbítja. A berendezés távműködtethető, azaz alkalmas távolból történő kapcsolási műveletek végrehajtására. A tervezett munkák biztonságos megvalósíthatósága érdekében a távműködtetés a helyszínen bénítható, és rendelkezik látható bontási ponttal és földelési lehetőséggel. A berendezés visszkapcsoló automatikával is rendelkezik (VKA), azaz alkalmas a beállított paraméterek alapján egy vagy több visszkapcsolási ciklus elvégzésére.

A definícióból következik, hogy az SSB koncepció megvalósításához a biztosítókat megszakítókra szükséges cserélni. Erre mutat egy lehetséges példát a 45. ábra:

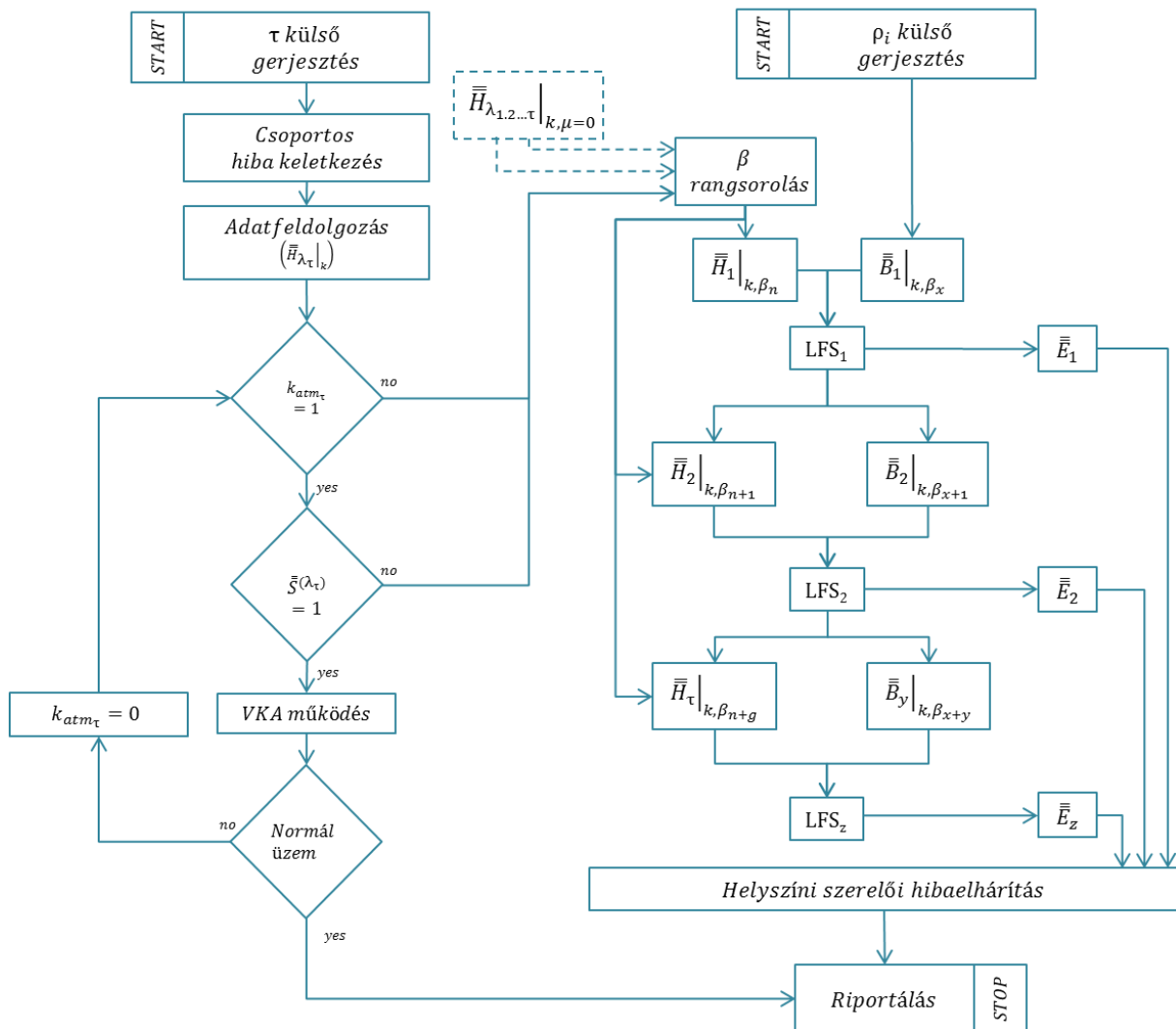


45. ábra Az SSB koncepció egy lehetséges megvalósítása [72]

10.2 A SiSS modell szimulált példán történő bemutatása

Kutatómunkám során felülvizsgáltam a 2.2 fejezetben ismertetett, Pálfi Judith által létrehozott LFS rendszert, amelybe integráltam az SSB visszakapcsoló automatikával elérhető folyamatokat. Az LFS rendszer felülvizsgálatából és kiterjesztéséből az SSB integrálásával előállt új modellt (System Integration of Smart SwitchBoard model) SiSS modellként vezettem be.

A SiSS modell folyamatábrán való megjelenítése az alábbi:



46. ábra A SiSS modell (saját ábra)

A 46. ábrán látható folyamat τ és ρ külső gerjesztések által indul. A ρ külső gerjesztés lehet bármilyen olyan külső tényező, amely befolyásolja a rendelkezésre álló KIF-üzemzavar-elhárításra alkalmazható szerelők számát, szakmai összetételét. Ilyen külső gerjesztés lehet a műszakok lejárása, vagy új műszakok, szerelői készenlétek kezdete, vagy új munkairányítási

feladatkörből érkező feladatok, magasabb üzemirányítási szintről érkező kapacitásigények, humán tényezők (pl. betegség, szerelőgépjármű meghibásodása) stb.

A τ gerjesztés lehet bármilyen olyan esemény, amelynek következménye egynél több fogyasztói kiesést eredményező KIF-üzemzavar. Ilyen lehet például egy hálózati túlterhelés, külső behatás, fáradozás, átívelés stb.

Új τ gerjesztés esetén a hibát ma még a Telecentrum, a jövőben várhatóan a smart szenzorok továbbítják a munkairányító rendszerek felé [2, 10, 73, 74]. A munkairányítási rendszer feladata a beérkező információk alapján a hiba k paraméterekkel bővített $1 \times m$ méretű \bar{H} mátrixának összeállítása.

A k paraméter – amelyből m darab kerül hozzárendelésre egy adott hibához – például lehet az adott hiba földrajzi elhelyezkedése (pl. GPS koordinátája), prioritása vagy a kiesett fogyasztók száma. A k paraméterek kiválasztása a rendszer felállításakor az alapján történt, hogy a hibacímeket az optimális helyen lévő, minden eszközzel és vizsgálóval rendelkező stb. szerelőcsapatnak ki lehessen adni. Például a λ -dik beérkező a hálózat gráfstruktúrájában a τ hibahelyen fellépő hiba \bar{H} mátrix transzponáltja (a transzponálás az átlátható megjelenítés végett):

$$\bar{H}_{\lambda\tau}^T = \begin{bmatrix} \text{Budapest} \\ 1037 \\ \text{Bécsi út 96/b} \\ \text{KDÜL} \\ \text{Gyenes} \\ 42160/10 \\ \text{sínfogyasztó} \\ 1 \text{ fogyasztó} \\ \text{nemlakossági fogyasztó}(k) \\ \text{kábeles hálózat} \\ \text{prioritás: 3} \\ 47.5338768 \\ 19.0343905 \end{bmatrix} \quad (41)$$

A megjelenített $\bar{H}_{\lambda\tau}^T$ a mátrix szemléltetésére szolgál, tartalmi felépítése felhasználói, jelen esetben: áramszolgáltatói döntés. A $\bar{H}_{\lambda\tau}^T$ mátrixban a sorok értékei lehetnek például az alábbiak:

$$\bar{H}_{\lambda_\tau}^T = \begin{bmatrix} \text{város} \\ \text{irányítószám} \\ \text{cím} \\ \text{állomás} \\ \text{KÖF – vonal neve} \\ \text{transzformátor egyedi azonosítója} \\ \text{KIF – áramkör egyedi azonosítója/sínfogyasztó} \\ \text{fogyasztók száma} \\ \text{fogyasztók típusa} \\ \text{hálózat típusa} \\ \text{prioritás} \\ \text{északi szélesség – GPS koordináta} \\ \text{keleti hosszúság – GPS koordináta} \end{bmatrix} \quad (42)$$

Ha az adott hiba a τ helyen múltó jellegű (bővebben lásd: 2.4 fejezet), azaz

$$k_{atm_\tau} = \begin{cases} 1, & \text{if } \bar{H}_{\lambda_\tau} \text{ is temporary faults} \\ 0, & \text{if } \bar{H}_{\lambda_\tau} \text{ is not temporary faults} \end{cases} \quad (43)$$

és az adott τ hibahelyen van SSB, azaz

$$\bar{S}^{(\lambda_\tau)} = 1 \quad (44)$$

ahol

$$\bar{S}^{(\lambda_\tau)} = \begin{cases} 1, & \text{if the node } \lambda_\tau \text{ has SSB} \\ 0, & \text{if the node } \lambda_\tau \text{ not has SSB} \end{cases} \quad (45)$$

és

$$k_{atm_\tau} \cdot \bar{S}^{(\lambda_\tau)} = \pi_\tau \quad (46)$$

ahol π_τ 0 vagy 1 értéket felvehető változó.

$\pi_\tau = 1$ esetén az SSB működésbe lép, és megkísérli elhárítani a hibát. Amennyiben sikerül, az üzemirányítás felé riportál, jelent. Ha a hiba az SSB működése ellenére is fennáll, akkor $k_{atm_\tau} = 0$, amelyből $\pi_\tau = 0$.

$\pi_\tau = 0$ esetén a $\bar{H}_{\lambda_\tau}|_k$ a β ranking folyamatba kerül be. A folyamat a hibacímet az előre definiált k paraméterek kiértékelése alapján fogja valamely $\bar{H}_\tau|_{k, \beta_{n+g}}$, $\tau \times k$ méretű mátrixba betenni [10]. A köznapi nyelvben ezen β értékek az alábbiakat jelenthetik:

β_1 . élet- és balesetveszély;

- β2. magas prioritású cím (pl. kórház);
- β3. magas fogyasztói számot érintő üzemzavar;
- β4. kis fogyasztói számot érintő üzemzavar;
- β5. egy fogyasztót érintő üzemzavar.

Tehát a rendszerbe beérkezett valamennyi olyan hibacím, amely SSB-vel nem hárítható, bekerül valamely $\bar{H}_\tau|_{k, \beta_{n+g}}$ mátrixba.

Az éppen műszakban vagy ügyeletben lévő szerelők alkotják a $\bar{B}_y|_{k, \beta_x}$ mátrixot. A hibacím-ütemező algoritmushoz (LFS₁) először a rendszerben lévő legmagasabb (numerikusan a legalacsonyabb) β rangsorolású hibacímek fognak bekerülni a címekhez tartozó k paraméterigényekkel együtt. Az LFS₁ lefutásának eredménye az \bar{E}_1 mátrixba kerül.

Az \bar{E}_1 eredménymátrix azonban nem feltétlenül fogja valamennyi hibát magában foglalni. Előfordulhat, hogy lesz olyan k paraméterigény, melyet csak úgy lehet kielégíteni, ha az egyik címen levő hibaelhárítást valamelyik szerelőcsapat már befejezte. Például előfordulhat, hogy három olyan hibacím is van, amelyiknél oszlopra kell mászni, de csak két olyan szerelő érhető el, akinek ehhez megfelelő feljogosítása van. Ezen címek (ahol a k paraméterigény nem elégíthető ki azonnal) várakozó státuszúak lesznek (ezek természetesen egyedi döntés alapján manuális beavatkozással kiütemezhetőek).

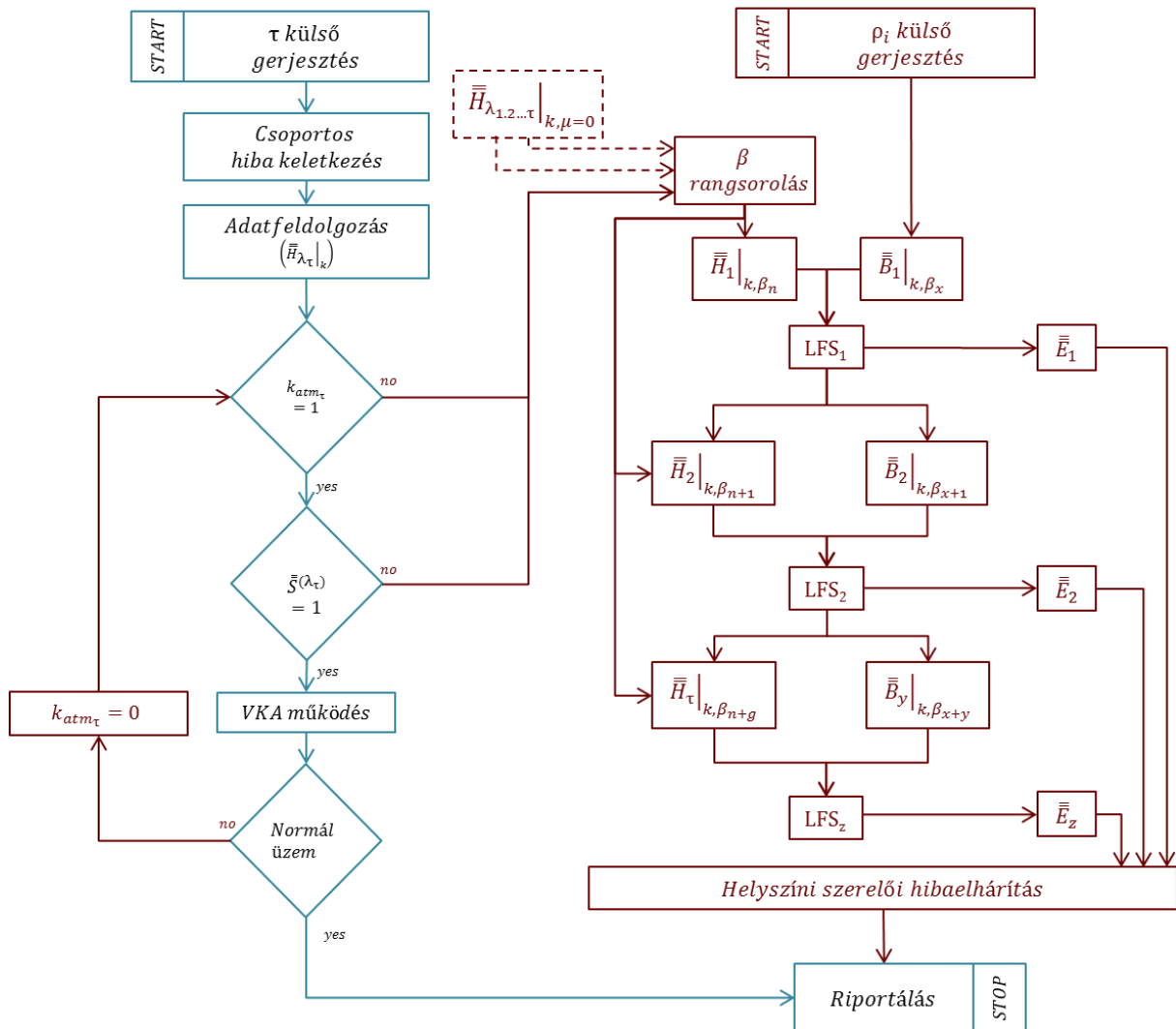
A várakozó státuszba kényszerülő címeken kívül a címet nem kapó szerelők ($\bar{B}_1|_{k, \beta_{x+1}}$) és az alacsonyabb β rangsorolású címek ($\bar{H}_\tau|_{k, \beta_{n+1}}$) is a rendszerben maradnak. A LFS₂ ezen bemeneti adatokkal fog lefutni. Eredménye az \bar{E}_2 mátrixba fog kerülni.

Ez ciklikusan keresztül tart. z akkor kerül elérésre, amikor cím már nincs a rendszerben. Ekkor a folyamat új külső gerjesztésig várakozómódban lesz.

Külső gerjesztés jelen esetben a felszabaduló szerelőcsapat vagy egy újabb hibabejelentés lehet. Új külső gerjesztés esetén a folyamat újraindul, azaz az LFS_z rendszer minden $\bar{H}_\tau|_{k, \beta_{n+g}}$ vagy $\bar{B}_1|_{k, \beta_x}$ változás esetén lefut, ezzel is elősegítve a teljes rendszer futási idejének csökkentését.

Az SSB által kezelt és szerelők által elvégzett hibajavítás utolsó lépése egyaránt a riportálás az üzemirányító központok felé.

A 47. ábra újrászínezett folyamatábráján jól látható, hogy az SSB telepítése és VKA (reclose) funkciójának aktiválása az átmeneti hibahelyen mely folyamatoktól teszik teljesen függetlenné az elhárítást (bordó színnel jelölt folyamatrészek):



47. ábra SSB reclose funkciójának hatása KIF-hibakiadó rendszerre (saját ábra)

A függetlenítés melletti további érv, hogy ha a KÖF-hálózaton már tapasztalati úton beállított paraméterekkel kerül aktiválásra a funkció, akkor a rendszer teljes futási ideje ebben az esetben kevesebb mint 3 perc. Azaz ezek az esetek rövid idejű zavartatásnak számítanak, a minőségi mutatók számításába nem kerülnek be (lásd.: 1.2 fejezet).

TÉZIS III.

Kidolgoztam a kiefeszültségű elosztó-hálózati elosztószekrényekbe integrált visszahapcsoló automatizmus rendszerbe illesztésére szolgáló SSB (Smart SwitchBoard) elméletet, ami a múltó jellegű zárlatok kezelésére alkalmas.

11 Az SSB bevezetésének hatásossága a KIF-hálózaton

Az áramszolgáltatók a beérkező hibabejelentéseket informatikai rendszerekben rögzítik. Ezekből a bejelentésekből a KIF-üzemirányítók munkautasításokat vagy másképpen munkalapokat vagy szakzsargonnal hibacímeket készítenek. Ezek a munkalapok kerülnek kiosztásra a villanyszerelőknek. A munkalapok kiosztása a szerelők pillanatnyi földrajzi elhelyezkedése, képesítése és számos egyéb tényező figyelembevételével történik (2.2 fejezet, k paraméter).

A szerelők a munkautasításokat úgynevezett terepi eszközökre kapják. A mobil munkairányítási rendszer az ELMŰ-ÉMÁSZ Társaságcsoporthoz az mWFM rendszer. E rendszer része a 4.2 fejezetben ismertetett MIRTUSZ szoftver.



48. ábra Az ELMŰ-ÉMÁSZ Társaságcsoporthoz mWFM rendszere használat közben (saját ábra)

A 48. ábra pillanatképein az látszik, ahogyan a szerelők terepi kivitelű táblagépek segítségével munkát végeznek. Ezen készülékekre nemcsak a hibabejelentés adatait (bővebben lásd: 2. melléklet) és a munkairányító megjegyzéseit kapják meg, de hozzáférnek a teljes EÉGIS rendszerhez is. Megjegyzendő, hogy az úgynevezett terepi eszközök nemcsak az üzemzavar-elhárítási folyamatot támogatják, hanem az üzembentartási és karbantartási munkákat is [75].

A szerelőknek egy hiba behatárolása és elhárítása után ki kell tölteniük a munkalap kötelező mezőit és a munkalaphoz csatlakozó űrlapot (bővebben lásd.: 2. *melléklet*). A legördülő lista mellett a szerelőknek lehetőségük van szabad szavas bevitelre is. Itt rögzítheti a szerelő a megjegyzéseit. Például a pótolta olvadóbetét típusát, nagyságát vagy az elvégzett javítás típusát (pl. hangfrekvenciás vevő cseréje, mérőcsere, kisautomatacsere, szorítócsere stb.).

A munkalapokon nem kerül rögzítésre az az információ, nincs ilyen legördülő lista, hogy az adott KIF-üzemzavart múltó zárlat okozta-e, azaz csak biztosítót cseréltek a szerelők, vagy más beavatkozásra is szükség volt (pl. gallyazás, leszakadt vezeték visszakötése stb.). Így a jelenlegi formájában a MIRTUSZ adatbázis direkt módon nem teszi lehetővé az átmeneti zárlatok okozta üzemzavarok kimutatását. A múltó zárlatok vizsgálatához a kitöltött munkalapokat egyenként megnyitva a szerelő által szabad szavasán begépelte megjegyzést és a legördülő listából választott adatokat szükséges elemezni. Előfordulhat ugyanis, hogy a szerelő biztosítót pótolta (ami egyébként az anyagelszámolásból egyértelműen kinyerhető adat), de a biztosítóolvadás oka nem átmeneti zárlat volt (pl. leszakadt egy vezeték, ami zárlati áramot okozott, és kiolvadt a biztosító).

11.1 SSB-hatásosság meghatározása véletlenszerű mintavételezés alkalmazásával

Kutatásom kezdetén a 2014 és 2015-ös naptári éveket vizsgáltam. A vizsgálat két évben (adattisztítás után) összesen 21 351 db munkalap keletkezett. A munkalapok egyenkénti megvizsgálása – mért értékek alapján – hozzávetőlegesen 90 másodperc (akár ± 1 perces különbséggel, a munkalapon feltüntetett információk komplexitásától függően). Ebből következik, hogy közelítő becslés alapján nagyságrendileg 550 munkaórába került volna valamennyi munkalap elemzése. A tudományos munka adatigényének kielégítésére a mintavételezés mellett döntöttem.

11.1.1 A mintavételezés tulajdonságai

A vizsgált populáció a 2014 és 2015 naptári év ELMŰ-ÉMÁSZ Társaságcsoportjában keletkezett hiba munkalapjai. A mintavételi keret 21 351 db munkalap. A mintavételezés során a megnevezett két év adataiból véletlenszerűen kiválasztott 3-3 hét adatai kerültek feldolgozásra.

A kiválasztott hetek:

	2014	2015
Kiválasztott naptári hét sorszama	09.	05.
	13.	15.
	37.	28.

Táblázat 8. 2014 és 2015 kiválasztott naptári hetei

11.1.2 Adatbázis és statisztika készítése MIRTUSZ-munkalapokból

A kiválasztott hetek munkalapadatainak szabad szavas beviteli mezőjében előszűrést végeztem. Azaz azokat a munkalapokat nem elemeztem manuálisan, amelyekben olyan előfordulások voltak, melyek egyértelműen arra utaltak, hogy nem múltó zárlat volt a hiba kiváltó oka. Ilyen szavak voltak például a „*visszakötve*”, „*aggregátor*”, „*kábelhiba*”, „*kötéshiba*” stb. Az előszűrés után a 3-3 hét munkalapjaiból 2061 db került manuális elemzésre.

A vizsgálat eredménye:

	Múltó zárlat, események darabszáma (db)	Múltó zárlat, érintett fogyasztók száma (db)	Múltó zárlat, kiesési idő összesen (perc)
2014. 09. hét	123	5 771	19 448
2014. 13. hét	88	3 289	12 548
2014. 37. hét	87	3 548	14 241
2015. 05. hét	158	6 092	23 566
2015. 15. hét	94	3 609	10 646
2015. 28. hét	1 026	32 362	354 155
Összesen	1 576	54 671	434 604

Táblázat 9. A feldolgozott minta eredménytáblázata

A *Táblázat 9.*-ben közölt eredmények alapján a vizsgált hetek során összesen 1576 esetben volt olyan átmeneti zárlat, amikor a szerelők csak a kiolvadt biztosítót pótolták. Ebből következik, hogy 1576 áramszünet (ami összesen 5467 fogyasztót érintett, a fogyasztóknak összesen 434 604 perc áramszünetet okozva) hatása lett volna minimalizálható az SSB reclose funkciójának alkalmazásával.

A vizsgálat eredményeinek extrapolálásával megállapítottam az adott évekre vetített maximális hatást.

11.1.3 Egy naptári évre vetített elérhető maximális hatékonyság meghatározása

A *Táblázat 9.* adatainak extrapolálásával az SSB által elérhető elméleti maximális hálózatminőségi javulást tartalmazza a *Táblázat 10.*

Vizsgált hét	KIF ÜZ	FxI (perc)	ÉCS	k	SAIDI	kSAIDI évre	SAIDI max	TÉNY%
2014. 09. hét	1 107	902 801	6 171	5,57	2,23	38,83	50,73	25%
2014. 13. hét	2 730	425 350	6 171	2,26	0,43	7,42		
2014. 37. hét	5 920	556 267	6 171	1,04	0,26	4,47		
2015. 05. hét	790	995 045	4 778	6,05	2,67	46,44	67,72	29%
2015. 15. hét	1 410	381 228	4 778	3,39	0,57	9,97		
2015. 28. hét	36 820	112 98 735	4 778	0,13	0,65	11,31		

Táblázat 10. Az SSB által a múltó zárlatok elhárításában elérhető maximális hatás

A *Táblázat 10.* második oszlopában (*KIF ÜZ*) az adott héten egy fogyasztónál többet érintő KIF-üzemzavarok száma olvasható le. Ez az adat reprezentálja, hogy az adott hét mennyire terhelt üzemzavarokkal. Jól látszik, hogy míg 2015 év 5. hetében 790 üzemzavar volt, addig a 28. héten 36 820 db. Ez utóbbi adat a szélsőséges időjárási körülmények miatt keletkezett.

A harmadik oszlop a SAIDI mutató számítási képlete (lásd: (2) *egyenlet*) számlálójának értékét mutatja ($F \times I$).

A mért adatok extrapolálásához azt szükséges megvizsgálni, hogy az adott hét üzemzavarainak száma (*ÉCS* – adott naptári évben a csoportos hibák heti számának átlaga, azaz hogy az adott évben hány darab csoportos hiba volt egy héten) hogyan viszonyul az éves heti átlaghoz. Ezt mutatja meg a *Táblázat 10.* *k* oszlopa.

2014-ben az ELMŰ-ÉMÁSZ Társaságcsoport 2 252 508 fogyasztóval, míg 2015-ben 2 246 941 fogyasztóval számolta a minőségi mutatóit (a SAIDI és SAIFI számítási módszerének nevezője). E két érték felhasználásával, valamint a korrekciós tényezővel került kiszámításra a *Táblázat 10.* hatodik oszlopa (*kSAIDI*). A korrekció elvégzése és a SAIDI mutató számítási módszerének végigkövetése után az extrapolálás elvégezhetővé vált (*SAIDI max*).

Tekintettel arra, hogy a minőségi mutatók közül a SAIDI és SAIFI mutatók a szankcionáltak, a számítások során csak e két mutató került figyelembevételre. A SAIDI és SAIFI közül a SAIDI nemcsak az üzemzavarok darabszámát, hanem azok időbeni lefolyását is figyelembe veszi. Ezért a hatékonyság a továbbiakban csak e mutatóra kerül számításra.

Összegezve a heti eredményeket megállapítható, hogy ha 2014-ben minden lehetséges helyen SSB lett volna felszerelve a KIF-hálózaton, a SAIDI mutató 50,73 perccel lett volna alacsonyabb. A 205,2 perc az ELMŰ-ÉMÁSZ tényadatának 25%-át jelenti. 2015-ben ez az érték 67,72 perc, ami az éves 231,32 perc tényadat 29%-a (*TÉNY%*).

Feltételezhető, hogy az áramszolgáltatók – gazdaságossági okok miatt – nem fognak minden elosztószekrényt SSB-re cserélni.

11.1.4 A kumulált hatékonysági függvény meghatározása regresszióanalízis alkalmazásával

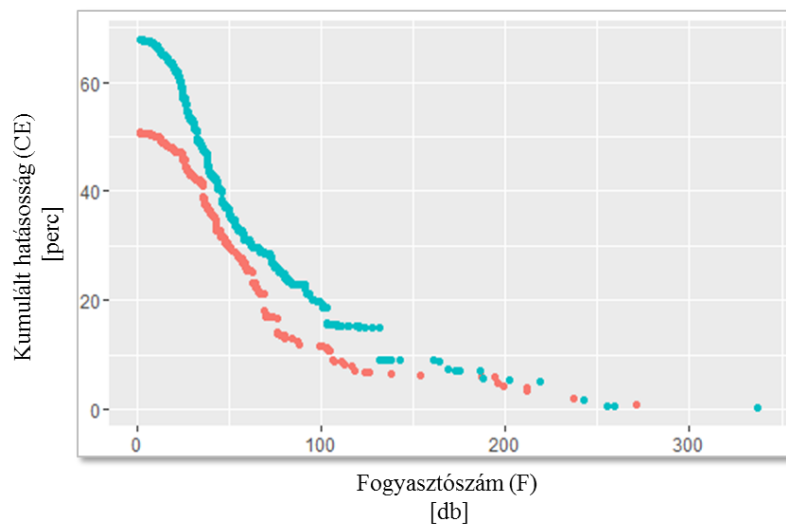
A hasznosságvizsgálat során ahhoz a gyakorlati döntéshez kívánok eszközt nyújtani, hogy mekkora fogyasztói szám az, amely esetén a berendezést még érdemes lecserélni. Ehhez összegzett hasznossági függvény került felírásra (Cumulative Efficiency – CE). E függvény megmutatja, hogy adott biztosítóhoz tartozó F fogyasztói számnál és F fölött lecserélve valamennyi biztosítót SSB-re, mekkora SAIDI-javulás érhető el.

Például $F = 105$ fogyasztó esetén:

$$CE = \sum_{F=105}^{F_{max}} F_i \cdot U_i \quad (42)$$

ahol F az olvadóbiztosító mögötti fogyasztók száma, F_{max} a maximális fogyasztói szám egy biztosító mögött, F_i az i KIF-üzemzavarban érintett fogyasztók száma, U_i az i KIF-üzemzavar időtartama.

A CE ábrázolása az ELMŰ-ÉMÁSZ 2014-es és 2015-ös mintáján:



49. ábra CE(N) eredményadatsorának ábrázolása, 2014 (piros) és 2015 (kék) (saját ábra)

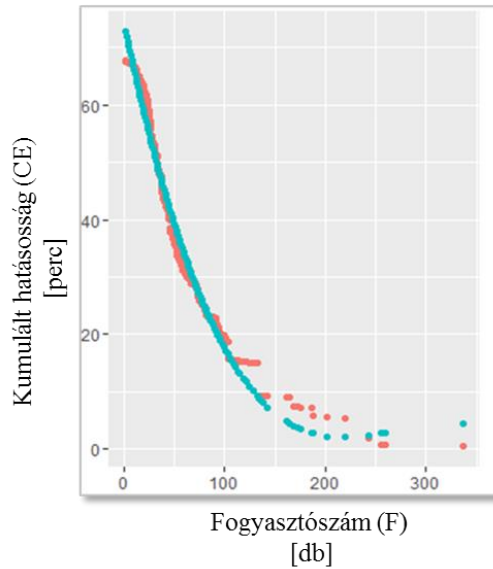
A 49. ábrán az adatok ábrázolása exponenciális eloszlást mutat, a CE exponenciálisan csökken az F fogyasztószám emelkedésével.

A 49. ábrán a 2015-ös mért adatainak görbéje regresszióanalízis alkalmazásával került leírásra. A regresszióanalízishez az R szoftvert alkalmaztam.

A regressziós modell 3. rendű polinomiális regresszióval készült, mely alapján:

$$CE(F) = 74,526 - 0,8611 \cdot N + 0,003317 \cdot N^2 - 0,000004095 \cdot N^3 \quad (43)$$

A (43) függvény adatsorának és a 2015-ös mért adatoknak a megjelenítése:

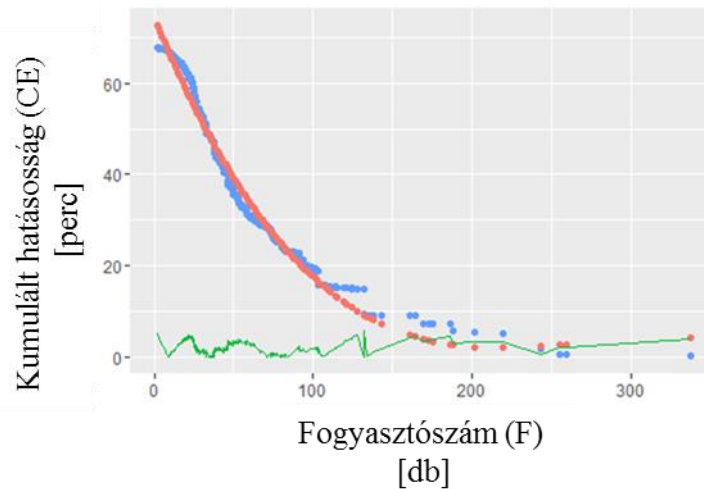


50. ábra A CE(F) eredeti adatsor (piros) és a 3. rendű polinomiális regresszióval készített adatsor (kék) a 2015-ös minta alapján (saját ábra)

Az adott becslés függvénye a statisztikai jellemzők alapján jól illeszkedik a mért adatokhoz: 96,96%-ban írja le a azokat.

A modell statisztikai jellemzői:

1. R^2 : jelen kontextusban az értéke azt mutatja meg, hogy milyen százalékban írja le a modell a mintát. A modell esetében az $R^2 = 96,96\%$, ami meglehetősen jó illeszkedést jelent.
2. Szórás: jelen kontextusban azt mutatja meg, hogy általánosan milyen közel vannak az aktuális értékek a várt értékekhez. A CE(F) függvény esetében ez 2,6 az adatsor elején ($N < 100$). Azonban az adatsor végén ($N < 130$) már 70 feletti értékek is jelentkeznek.
3. Reziduálisok: a mért és a modellel számolt értékek különbsége. Lásd.: 51. ábra.

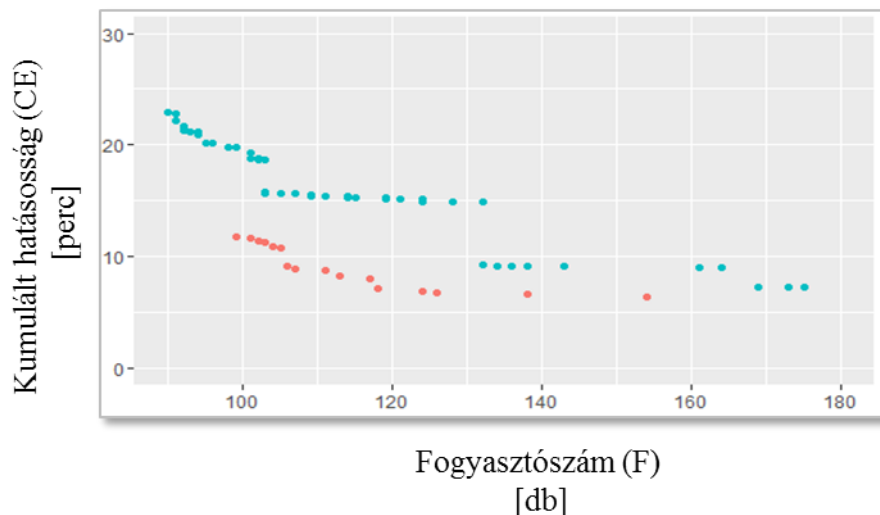


51. ábra A $CE(F)$ eredeti adatsora (piros), a 3. rendű polinomiális regresszióval készített adatsor (kék) és a reziduálisok (zöld) a 2015-ös minta alapján (saját ábra)

Az statisztikai mérőszámokból az látszik, hogy a modellek jól írják le a mért adatokat, azonban korlátozza a regressziós modell megfelelőségét, hogy az $F < 100$ felhasználószám felett (F) alacsony az egyedek száma. Az 51. ábra egyrészt alacsony mintavételezést mutat, másrészt szemlélteti a modell és a mért adatok közötti megfelelő illeszkedést az alacsonyabb tartományokban.

11.1.5 A „platformanomália”

100 és 180 felhasználó között mindkét vizsgált évben úgynevezett platókat (angol nyelven: platform) figyelhettünk meg. Ebben az intervallumban a felhasználószám növekedésével alig változik a hasznosságmutató, a függvény meredeksége gyakorlatilag 0.



52. ábra CE(F) 2014 (piros) és 2015 (kék) eredményadatsorának ábrázolása a $80 < F < 180$ intervallumban (saját ábra)

Az általam „platformanomáliá”-nak elnevezett jelenség oka feltételezhetően az alulreprezentáltság az adott intervallumban. Ezt és az $F < 100$ utáni magas reziduálisokat figyelembe véve a minta egyedszámának növelése mellett döntöttem. Tekintettel arra, hogy ezt manuális úton csak jelentős munkaórával lehetett volna elérni, így az eddigi adatokat felhasználva, gépi tanulás módszerét alkalmazva bővítettem az egyedszámot.

11.2 Mintavétel egyedszámának bővítése gépi tanulás alkalmazásával

Az adatlapok klasszifikálására épített modell kialakításához nem volt elegendő az adatlapokon tárolt numerikus és kategorikus változók használata, az egzakt kiértékelés érdekében a szabad szöveges mezőket is fel kellett dolgozni – úgy, ahogy az a manuális feldolgozás során is történik. A feladat végrehajtására adatbányászati eszközök alkalmazását választottam.

Az adatbányászati technikák lehetővé teszik a szabad szöveg tördelését, a legjellemzőbb szavak kiválasztását, súlyozását. A szabad szöveg így kategorikus változók sorává alakítható, melyek feldolgozhatók az úgynevezett géptanulás- (machine learning) algoritmusok számára.

11.2.2 Az adattárház létrehozása

A vizsgálatokhoz a – rendelkezésemre álló – 2014 és 2015-ös naptári év hibaeseményeinek űrlapadatait használtam fel (bővebben lásd: 2. melléklet). Az előszűrés után (a 11.1.2 fejezetben ismertetett módon) az adattábla összesen 15 634 db rekordot (megfigyelést) tartalmazott. A rendelkezésre álló változók közül (bővebben lásd: 2. melléklet) a manuális feldolgozás tapasztalatait felhasználva kiválasztásra kerültek azok, amelyek a klasszifikáció eredményére akár a legkisebb befolyással is lehetnek:

Változó	Leírás	Típus
Hiba_Azon	Hibaeset egyedi azonosítója	Szöveg
Hiba_ok	Hiba oka, legördülő listából választható	Szöveg
Hibahely_kat	Hibahely-kategória, legördülő listából választható	Szöveg
Kiesett_EEGIS	Meghibásodott hálózati elem egyedi azonosítója (nem minden esetben kerül rögzítésre)	Szöveg
Kiesés_kezdete	A hibabejelentés rögzítésének időpontja (jellemzően a TeleCentrumban) (dátum, óra:perc)	Dátum és idő
Kiesési_idő	A hiba bejelentésétől a kijavításáig eltelt idő (perc)	Szám
Helyszínen_tölt	A szerelő helyszínre érkezése és távozása közötti idő (perc)	Idő
Munkair_megj	Munkairányító megjegyzése az űrlapon, szabad szöveg	Szöveg
Szerelő_megj	A szerelő megjegyzése az űrlapon, szabad szöveg	Szöveg

Táblázat 11. A klasszifikációs eljárásához felhasznált változók listája

Az algoritmus „betanításához” a 2061 rekord manuális besorolásának eredménye került felhasználásra. Az adattárház ennek okán a *Táblázat 11.* kilenc oszlopa mellett egy *Igen/Nem*eket választható *Múló zárlat* oszlopot is tartalmazott.

11.2.3 Adattranszformációk és adattisztítás

Az adattáblák több helyen hibát tartalmaztak, illetve nem megfelelő adatformátummal vagy tartalommal rendelkeztek a feldolgozás, modellezés szempontjából. Ilyenek voltak például:

1. A *Kiesett_EEGIS* adatmezők több helyen *NA* (*nincs adat*) értéket mutattak. Ezeket 0-ra állítottam.
2. Az egyedi EÉGIS-azonosító konkrét értéke (*Kiesett_EEGIS* adatmező) az eljárás szempontjából nem releváns. Az viszont releváns, hogy került-e rögzítésre valamilyen EÉGIS-azonosító (a tapasztalat azt bizonyította, hogy jellemzőbb az EÉGIS-azonosító felvitele az úrlapra átmeneti zárlatok esetén). Ezért minden 0-tól különböző értéket 1-re módosítottam.
3. A *Helyszínen_töltött* adatmezők formátuma megváltoztatásra került, időtípusú változó helyett az eltöltött percekre módosítottam. Ennek oka, hogy a dátum és óra:perc formátum feldolgozását bizonyos algoritmusok nem tudják kezelni (lehetséges hiba kizárása).
4. A teljes szöveg kisbetűssé lett alakítva, valamint eltávolításra kerültek az írásjelek és ékezetes karakterek. Ennek oka, hogy bizonyos algoritmusok nem tudják kezelni a karaktereket, torzíthatják a szavak gyakoriságának mérőszámait, esetleg elkülönült változóként jelenhetnek meg (lehetséges hiba kizárása).
5. Az azonos jelentésű karaktersorok azonos karakterekre lettek felcserélve a szövegben. Például az „*nki*”, „*betét*”, „*biztosíték*” ki lett cserélve a leggyakrabban előforduló „*bizti*”-re.
6. Az előforduló szavak listázásra kerültek, majd hozzárendelésre került a felmerülésük száma, azaz hogy mely szavak hányszor szerepelnek a szerelői megjegyzésekben összesen. Ebből kitisztításra kerültek az általános (pl. *nem*, *utca*) és a feldolgozásból adódó szavak, szóelemek (pl. ragok, kötőszók stb.) melyek nem befolyásolhatják a végeredményt.

A tisztított adathalmazból kerültek kiválasztásra a legjellemzőbb, 100 vagy annál több felmerüléssel előforduló szavak. Ezen szavak az adattárhoz változóként kerültek hozzárendelésre. Ezáltal minden rekord a 9 + 1 változóhoz újabb 65 változót kapott. Az új változómezők értéke *TRUE*, amennyiben az adott megfigyelés *Szerelő_megj.* mezője tartalmazza az adott szót, és *FALSE*, ha nem.

11.2.4 A modell

A modell építéséhez az R szoftver (bővebben lásd: 6. fejezet) H2O bővítményének²³ alkalmazásával véletlenerdő-algoritmust (bővebben lásd: 6.2 fejezet), a keresztvalidáció megvalósításához N-Fold eljárást alkalmaztam (bővebben lásd.: 6.3 fejezet).

Az R szoftver kimutatása alapján a klasszifikációt leginkább befolyásoló 22 változó az alábbi volt:

Változó	Változó forrása	Relatív fontosság	Skálázott fontosság	Százalék
Helyszinen_tolt	adatmező	4107.0396	1.0	0.3793
Hibaok	adatmező	1479.1973	0.3602	0.1366
Hibahely	adatmező	1176.0732	0.2864	0.1086
szakad	szabadszöveg-elemzés	470.4312	0.1145	0.0434
oszlop	szabadszöveg-elemzés	390.9607	0.0952	0.0361
Kieses_napja	adatmező	299.9892	0.0730	0.0277
vezetek	szabadszöveg-elemzés	297.5031	0.0724	0.0275
fa	szabadszöveg-elemzés	264.1427	0.0643	0.0244
Kieses_oraja	adatmező	262.9560	0.0640	0.0243
csere	szabadszöveg-elemzés	253.5444	0.0617	0.0234
bizti	szabadszöveg-elemzés	247.0625	0.0602	0.0228
csatlakozo	szabadszöveg-elemzés	167.7930	0.0409	0.0155
kikapcsolva	szabadszöveg-elemzés	124.8377	0.0304	0.0115
kabel	szabadszöveg-elemzés	120.4300	0.0293	0.0111
zarlat	szabadszöveg-elemzés	108.4797	0.0264	0.0100
levalasztva	szabadszöveg-elemzés	99.1262	0.0241	0.0092
szigetelo	szabadszöveg-elemzés	85.1159	0.0207	0.0079
kosaras	szabadszöveg-elemzés	79.9275	0.0195	0.0074
fogyaszto	szabadszöveg-elemzés	76.3690	0.0186	0.0071
halozat	szabadszöveg-elemzés	74.0698	0.0180	0.0068
volt	szabadszöveg-elemzés	64.6624	0.0157	0.0060
szukseges	szabadszöveg-elemzés	51.4601	0.0125	0.0048

Táblázat 12. A klasszifikációt leginkább befolyásoló tényezők

²³ A H2O egy nyílt forráskódú, R szoftverben is alkalmazható úgynevezett matematikai motor. A H2O beépített gépi tanulási algoritmusokat tartalmaz, például véletlen erdőket és neurális hálózati algoritmusokat. [76]

A *Táblázat 12.*-ben jól látszik, hogy a három leginkább befolyásoló tényező az adatmezőkből származó (nem a szabad szöveg elemzéséből származó, lásd: *Táblázat 11.*) változók közül került ki.

A kisbetűvel kezdődő változók esetén (a szabadszöveg-elemzés által generált változók) olyan nem várt szavak is bekerültek a leginkább befolyásoló változók közé, mint a „*fogyasztó*”, a „*halozat*”, a „*volt*” vagy a „*szukseges*”. Ezen szavak önmagukban nem valószínűsíthető, hogy befolyásolják a klasszifikációt, azonban az eredményekből az következik, hogy olyan, a szerelők által megfogalmazott mondatokban szerepelnek, amelyek már szignifikánsan befolyásolják a végeredményt.

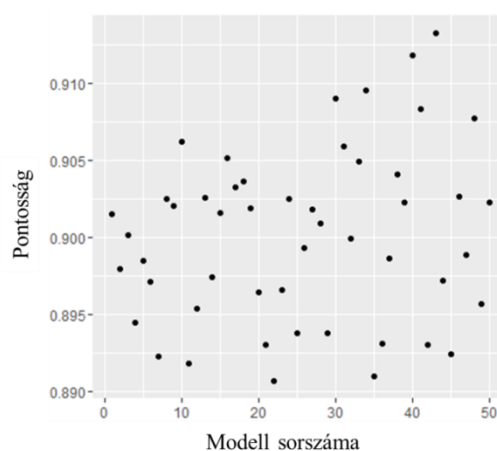
11.2.3 A modell tulajdonságai

A klasszifikációs modell paraméterei az alábbiak lettek:

- fák száma: 200
- maximális mélység: 5
- N-Fold (N-rész): 10.

Ez azt jelenti, hogy 200 döntési fa került generálásra, melyek 5 szint mélységűek voltak. A keresztvalidációs eljárás az adatbázis (a *23. ábrán* szemléltetett módon) 10 részre került felosztásra. Az így elért pontosság: 89.65% lett, ami azt jelenti, hogy a modell átlagosan 89,65%-os pontossággal osztályozta helyesen a hibajelenségeket.

A kialakított adattáblán ötvenszer került lefuttatásra a metódus. Az ötven modell pontossági paraméterei a következő mintázatot mutatják:



53. ábra A klasszifikációs modell pontossága (saját ábra)

A modellek pontossága 89% és 91,5% között változott. Az értékek átlaga és mediánja közel egyforma, ami normál eloszlásra utal.

- Medián: 0.9005302
- Átlag: 0.9001264

A fentiek alapján a lefuttatott 50 modell 90% körüli pontosságot biztosít. Az adatok szórása 0,0056, ami azt jelenti, hogy tökéletes normál eloszlást feltételezve a pontosság 95%-os valószínűséggel 88,89% és 91,13% közé esik.

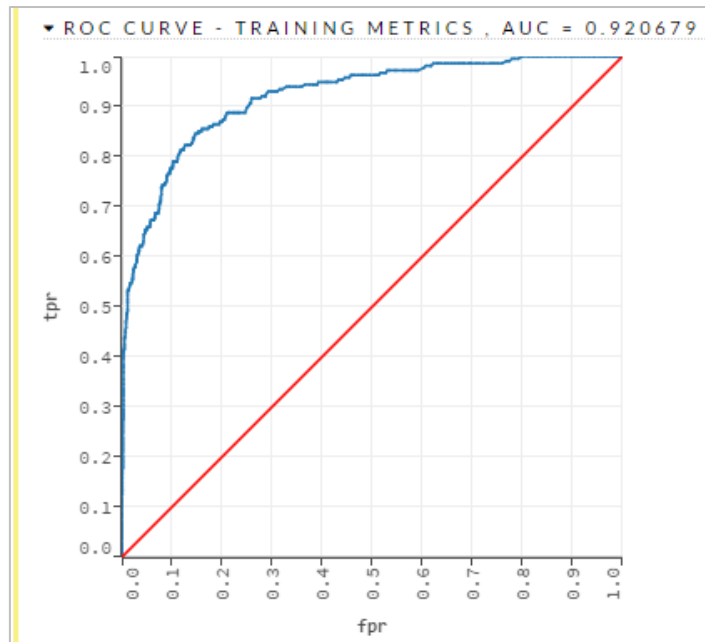
A modell keveredési mátrixa (bővebben lásd: 6.4 fejezet):

		Valós osztály		Hiba	Hibaaarány
		Igen	Nem		
Jósolt osztály	Igen	222	6	0.026316	6 / 228
	Nem	19	45	0.296875	19 / 64
	Összesen	241	51	0.323191	25 / 292

Táblázat 13. A modell keveredési mátrixa

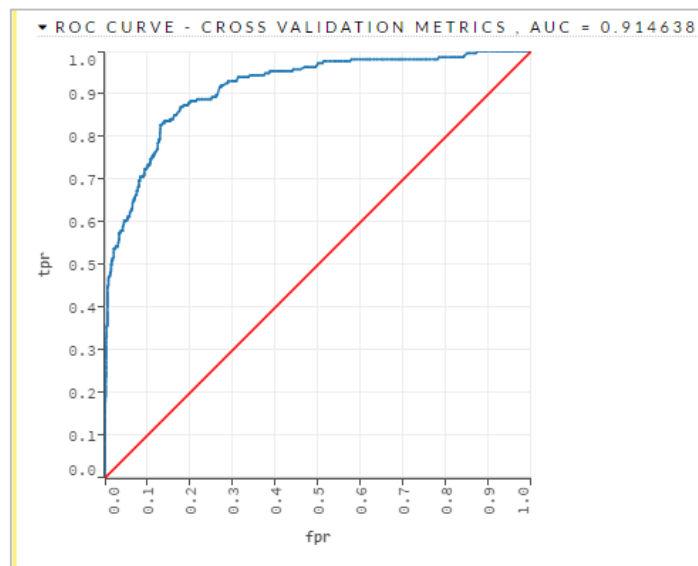
A *Táblázat 13.* sorai az adott hiba valós besorolását, míg oszlopai az algoritmus által prediktált besorolásokat jelentik. 222 esetben minősített átmeneti zárlatnak olyan eseteket, melyek valóban azok voltak. 19 esetben *Igen* eredményt adott *Nem* jelölésekre. A modell 292 esetből 25 esetben sorolta be helytelenül a megfigyeléseket. Ez 8,56%-os hibát jelent, ami megfelelő pontosságot feltételez. Megjegyezendő, hogy ez a szám adott tesztadatbázisra vonatkozik, azaz jól szemlélteti a modellelmélet pontosságát (hibalehetőséget), de nem a modell általános jellemzője.

A ROC görbe (a 6.4 fejezet alapján) az FPR függvényében mutatja a TPR változását, tehát minél nagyobb a görbe alatti terület (AUC), annál pontosabb a modell. A tesztadatok AUC-száma megközelíti az ideális 100%-ot (92.07%), így a modell pontosnak tekinthető:



54. ábra Tesztadatok ROC görbéje (saját ábra)

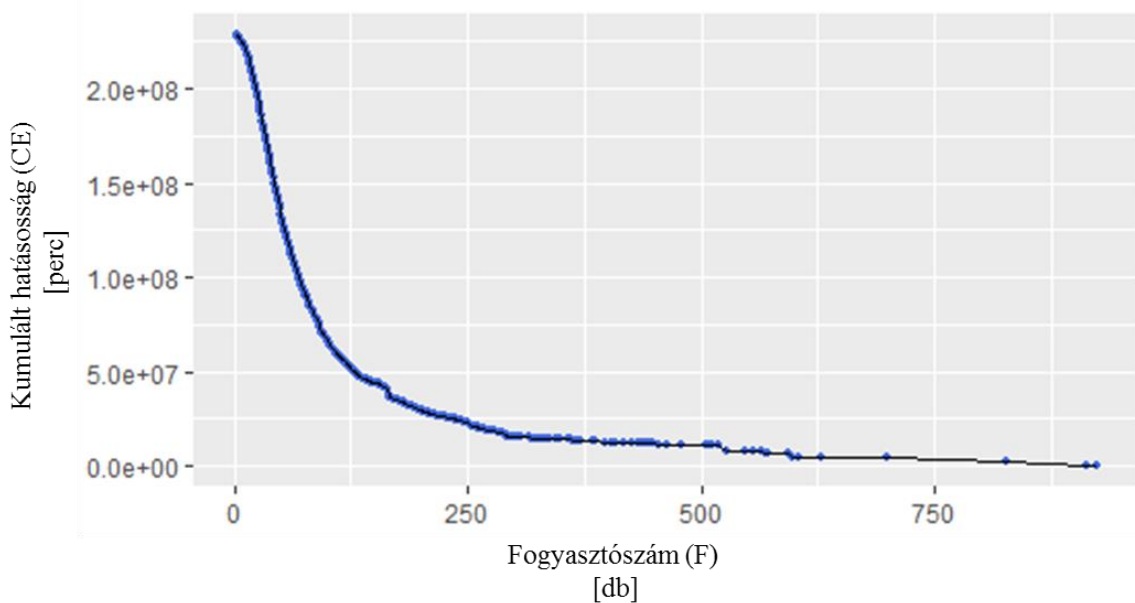
A tanulási és tesztadatok ROC görbéjének hasonlósága azt mutatja, hogy a megkapott algoritmus hasonló eredménnyel írja le a tesztelésére használt adatokat, mint a kialakítására használtakat. A modell ebből a szempontból is jónak tekinthető:



55. ábra Tanulási adatok ROC görbéje (saját ábra)

11.2.4 Az egyedszámok bővítésének eredménye

A klasszifikációs eljárás lefuttatásra került az ELMŰ-ÉMÁSZ 2014. 01. 01. – 2017. 12. 31. közötti hibacímein. (Megjegyzendő, hogy a MIRTUSZ rendszerben a 2014 előtti egyes adatok megbízhatósága – az adatgazda elmondása alapján – megkérdőjelezhető. A vizsgálatok időintervallumának kezdetei ezért estek 2014. 01. 01-re. Kutatómunkám során mindig teljes évekre végeztem vizsgálatokat. A vizsgált időintervallum végét ennek okán a vizsgálatkor általam elérhető aktuális validált tényadatok jelentették.)



56. ábra CE(F) bővített eredményadatsorának ábrázolása a 2014 – 2017 naptári évek adatainak elemzése alapján (saját ábra)

Az 56 ábrán jól látszik egyrészt, hogy a „platformanomália” jelentősen csökkent, csaknem eltűnt. Másrészt az ábrán az is jól látszik, hogy $F < 100$ felhasználószám felett a mintavételezés száma jelentősen növekedett. Az alacsony mintavételezés száma nagyságrendileg feltolódott az $F < 500$ tartományba. Tekintettel arra, hogy az EÉGIS nyilvántartása alapján az egy biztosítóhoz tartozó fogyasztószámok 2%-éhez tartozik több mint 500 fogyasztó, így ez elfogadhatónak minősíthető.

Össességében tehát megállapítható, hogy az alkalmazott módszer az alacsony mintavételezésből adódó problémák kezelésére alkalmasnak bizonyult.

TÉZIS IV.

Új klasszifikációs modellt dolgoztam ki – egy áramszolgáltató munka-, és kisfeszültségű elosztó-hálózati üzemirányítási adatbázisának szabad szöveges adatait felhasználva – a kisfeszültségű elosztó-hálózati múlt jellegű zárlatok topológiai adatbázisának és statisztikájának létrehozására.

11.3 Az SSB optimális implementációja

A KIF-hálózat nem minden csomópontjára kerül SSB eszköz. Ennek oka, hogy egy (2018. évi értéken számolva) nagyságrendileg ezer euró értékű berendezés minden csomópontba telepítése nem lehet gazdaságos [70, 71].

A hatékonyságra és gazdaságosságra optimalizált elhelyezés érdekében meg kell határozni, hogy a hálózat mely csomópontjaira, a csomópontból elérhető milyen maximális fogyasztói szám ((26) egyenlet alapján F) fölé szükséges eszközt telepíteni, és ez mekkora SAIDI-javulást eredményez.

Ez a rendelkezésemre álló adathalmazra két függvény alapján határozható meg:

1. a 11.2.4 fejezetben ismertetett $CE(F)$ függvény, valamint
2. a TDNm-ből CONAM módszerrel előállított F_i ((26) egyenlet alapján), kumulált eloszlás eloszlásfüggvénye ($CF(F)$), ahol $F = t$ esetén $CF = \sum_{F_i=t}^{F_i^{max}} F_i$

A két összefüggésből kifejezhető az $F(CF,CF)$, mely egy olyan új adatrepresentáció, mely a megfelelő hatékonyság és gazdaságosság elérése érdekében az SSB optimális elhelyezését támogatja. A $CE(F)$ és $CF(F)$ függvények adatsorként csak korlátozott formában használhatóak fel a megfogalmazott cél elérése érdekében, ezért regressziómódszereket alkalmaztam.

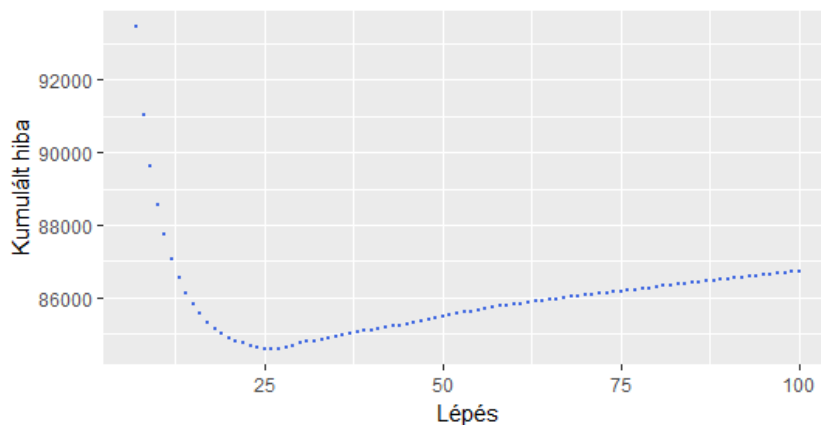
11.3.1 A nemlineáris regresszió

Kísérletet tettem a két görbe regressziós görbéjének meghatározására nemlineáris regresszióval. A nemlineáris módszer használatának első lépése egy olyan függvény paraméterezett felírása, amely közelíti a vizsgálandó adatsort. Erre az $y = \frac{1}{x}$ függvény négy paraméterrel bővített változatát használtam:

$$y = \frac{p_2}{(y+p_3)^{p_4}} \quad (43)$$

A legjobb illesztéshez a paraméterek az R szoftver nemlineáris optimalizáció funkciójával (nlsLM) [77] kerültek megkeresésre. Az nlsLM iterációs folyamat során a paraméterek folyamatos változtatásával a Levenberg–Marquardt típusú illesztési algoritmust [78] használva a pontsorhoz igazítja a függvényt, megkeresi a leginkább illeszkedő megoldást.

A módszer alkalmazása során többkörös iteráció került elvégzésre. Első körben a paraméterek közelítő értékét határoztam meg az nlsLM funkció segítségével, 50 lépéses iterációban. A következő körben ezeket az eredményeket input adatként adtam meg az nlsLM funkciónak. 100 lépésben futtattam le a kísérletet, így egyfajta Monte Carlo-módszerrel [79] pontosítottam az eredményt. Erre a lépésre azért volt szükség, mert az R algoritmus csak meghatározott számú iterációs ciklust hajt végre.



57. ábra A CF(N) adatsorra való illesztés iterációja eredményeinek kumulált hibái (saját ábra)

Az 57. ábrán látható, hogy az iterációk folytatása nem hozza az eredmény folyamatos javulását. Az iteráció végeredményeként a legkisebb kumulált hibát adó megoldást választottam ki, melyet a *Táblázat 14.* foglal össze:

Paraméter	Eredmény	Hiba	t értéke	Becslés ($>|t|$)
p_2	$2,33 \cdot 10^{30}$	$1,64 \cdot 10^{31}$	0,142	0,887
p_3	$3,01 \cdot 10^2$	$3,32 \cdot 10^1$	9,056	$< 2 \cdot 10^{-16}$
p_4	$1,04 \cdot 10^1$	$1,04 \cdot 10^{00}$	10,033	$< 2 \cdot 10^{-16}$

Táblázat 14. A CF(N) adatsorra való illesztésiteráció legjobb eredménye

Az iteráció során kapott függvények paraméterei nem minden esetben statisztikailag szignifikánsak (kiválasztott függvény esetén p_2 még közel 90%-os szignifikanciaszinttel sem). A leginkább illeszkedő, legkisebb összesített hibát adó iterációval kapott függvény esetén a hibaösszeg 84 588 volt, ami szignifikánsan több, mint a polinomiális regresszióval elérhető legjobb hibaösszeg (lásd.: 11.3.2). Ezek alapján a változók közti összefüggések vizsgálati eszközként a polinomiális regresszió került kiválasztásra.

11.3.2 A polinomiális regresszió

Amikor az

$$F = \{p_n(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m\} \quad (44)$$

függvényosztály a legfeljebb m -edrendű polinom osztály, a

$$\min_{f \in F} \mathbf{E}(Y - f(X))^2 \quad (45)$$

minimális feladat megoldása polinomiális regressziós illesztésnek nevezhető [80]. A feladat megoldásához a MATLAB²⁴ szoftver beépített polyfit függvényét használtam fel (fit type: poly34), melynek eredménye:

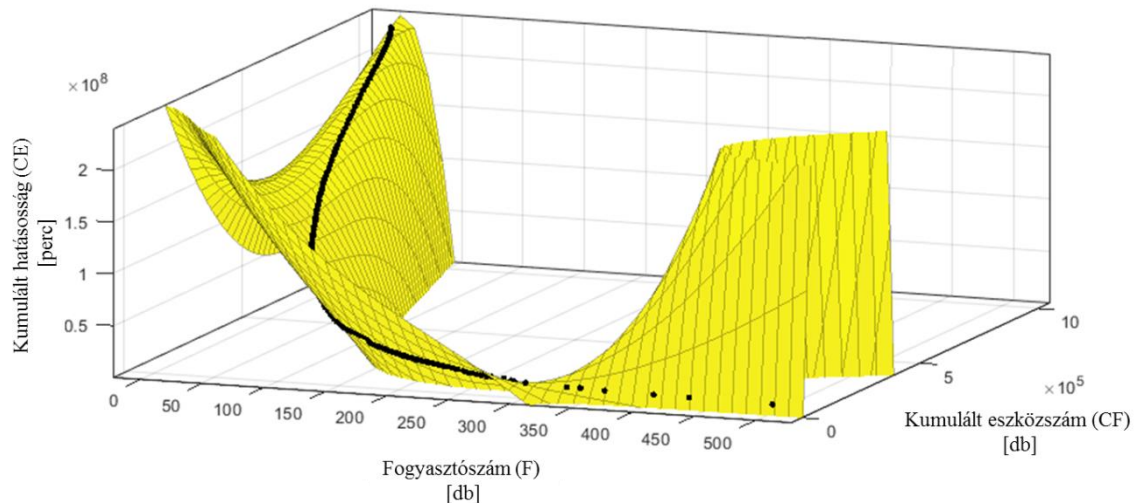
$$CE(x, y) = 3,32 * -2,304 * 10^6x - 753,8y + 5659x^2 + 3,625xy + 0,000649y^2 - 4,644x^3 - 0,03835x^2y + 1,83 * 10^{-5}xy^2 + 3,562 * 10^{-10}y^3 + 0,000114x^3y - 9,14 * 10^{-8}x^2y^2 - 1,816 * 10^{-11}xy^3 - 3,501 * 10^{-16}y^4 \quad (46)$$

ahol x a fogyasztók száma (FE) és y a kumulált (azaz a telepítendő) eszközök száma (FE) a SAIDI hatásosság függvényében (CE)

²⁴A MATLAB speciális programrendszer, amelyet numerikus számítások elvégzésére fejlesztettek ki, és emellett egy programozási nyelv. A The MathWorks által kifejlesztett programrendszer képes mátrixszámítások elvégzésére, függvények és adatok ábrázolására, algoritmusok implementációjára és felhasználói interfészek kialakítására.

A (46) egyenlet illeszkedését leíró statisztikai jellemzők: $SSE: 8,09 * 10^{13}$, $R^2: 0,9999$, $RMSE: 5.999 * 10^5$ [81], melyek alapján kijelenthető, hogy a függvény és az adatsorok között szoros, szignifikáns korreláció van. Erre különösen R^2 kimagaslóan magas értéke utal²⁵.

A (46) egyenlet és az eredeti adatsor MATLAB által készített megjelenítése:



58. ábra A $CE(F,CF)$ adatpontjai és a polinomos regresszió eredménye (saját ábra)

Az 58. ábrán megjelenített CE értéke a 11.2.4 fejezetben közölt eredmények, azaz az ELMŰ-ÉMÁSZ 2014–2017 négy naptári év adatai.

Az alkalmazott klasszifikációs modell alkalmazásával alacsony munkaóra-ráfordítással adott időszakra kimutathatóvá válik, hogy hány darab, időben milyen hosszú és hány fogyasztót érintő múltó jellegű zárlat volt. A CONAM metódus alapján négy lépésben meghatározható adott hálózat csomópontjainak az eloszlása, azaz egy adott $CE(F)$ döntés alapján a felszerelendő eszközök száma. A módszerek együttes alkalmazásával meghatározható a konkrét hálózatra telepítendő eszközök elhelyezésének relatív optimuma²⁶.

²⁵ R^2 értéke 0 és 1 között lehet. R^2 azt mutatja meg, mekkora hányadban magyarázzák a független változók a függő változó teljes eltérés négyzetösszegét. Ha a meredekség 0, akkor a determinációs együttható értéke is 0, tehát a vizsgált változók közt nem mutatható ki korreláció. A determinációs együttható akkor maximális, ha minden kapott függvényérték a regressziós egyenesen van.

²⁶ A függvény monoton növekedése miatt sem abszolút, sem lokális optimumról nem beszélhetünk. A relatív optimumot az SSB berendezés fajlagos piaci ára, telepítési költsége és az egyéb hálózatminőségi intézkedések közötti, az aktuális részhálózatra számított összevetés (fajlagos MEH 1 mutatójavulás, lásd *Ábra 3.*) fogja adni.

TÉZIS V.

Olyan új eljárást dolgoztam ki, amelynek alkalmazásával megvalósítható a kisméretű elosztóhálózati műveletkezelésére alkalmas eszközök elhelyezésének optimalizált telepítése.

Összegzés

A bemutatott – alkalmazott műszaki tudományi – munka kutatási területe a kiefeszültségű villamos elosztóhálózat. A disszertációban e kutatási terület jogszabályi háttere és a vonatkozó szakirodalom feldolgozásának bemutatás után megállapításra került, hogy a villamos energia elosztói engedélyesei számára kiemelt szempont a villamosenergia-ellátás biztonság valamint az adatminőség.

Ennek okán a kutatómunka céljaként a villamosenergia-ellátás biztonság növelése, a szolgáltatás folytonosságának magasabb szintű biztosítása, azaz a villamosenergia-szolgáltatás minőségének, valamint a szolgáltatott adatok minőségének javítása került definiálásra.

A kutatási terület és cél határozás után öt hipotézis került felállításra.

A hipotézisek vizsgálatához alkalmazott alkalmazott adatforrások, tudományos eszközök és módszerek bemutatásra kerültek. Az adatforrások között szerepel Közép-magyarország és Észak-Magyarország áramszolgáltatójának, az ELMŰ-ÉMÁSZ Társaságcsoport hálózatnyilvántartó rendszere az EÉGIS, munkairányítási és kiefeszültségű elosztóhálózati üzemirányítási rendszere a MIRTUSZ, valamint adatbázis kezelő rendszere az Oracle BI Discoverer.

Tudományos eszközök és módszerek közül bemutatásra került a gráfelmélet, a hálózattudomány és az adatbányászat – a kutatás szempontjából releváns – részei, elemei.

Ezután a kutatási eredmények kerültek ismertetésre, melyeket öt tézisben foglaltam össze.

Új tudományos eredmények, tézisek

TÉZIS I.

Létrehoztam a TDNm (Transmission and Distribution Network model) gráf modellt, amelynek alkalmazásával lehetővé vált a villamosenergia-átviteli és villamosenergia-elosztóhálózati rendszer topológiai szintű analízise. [84, 62, 64, 85, 63]

TÉZIS II.

Új, CONAM (COConsumer Numbers with Attainability Matrices) eljárást dolgoztam ki a kiefeszültségű elosztóhálózaton bekövetkezett hibák fogyasztói érintettségének topológiai alapú meghatározására. [62, 50, 85]

TÉZIS III.

Kidolgoztam a kiefeszültségű elosztó-hálózati elosztószekrényekbe integrált visszkapcsoló automatizmus rendszerbe illesztésre szolgáló SSB (Smart SwitchBoard) elméletet, ami a múltó jellegű zárlatok kezelésére alkalmas. [71, 15, 85, 86, 73, 70]

TÉZIS IV.

Új klasszifikációs modellt dolgoztam ki – egy áramszolgáltató munka-, és kiefeszültségű elosztó-hálózati üzemirányítási adatbázisának szabad szöveges adatait felhasználva – a kiefeszültségű elosztó-hálózati múltó jellegű zárlatok topológiai adatbázisának és statisztikájának létrehozására. [57, 71]

TÉZIS V.

Olyan új eljárást dolgoztam ki, amelynek alkalmazásával megvalósítható a kiefeszültségű elosztóhálózati múltó zárlatok kezelésére alkalmas eszközök elhelyezésének optimalizált telepítése. [87, 15, 58, 85, 88]

Javaslatok a kutatás folytatására

A villamosenergia-ellátás biztonsága és folytonossága egyre fontosabb, ami a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal szigorú elvárásaival együtt igen komoly kihívás elé állítja a villamosenergia-elosztói engedélyeseket. Kutatásom eredményei ezen kihívásoknak való megfeleléshez kívánnak hozzájárulni.

Kutatómunkám során létrehoztam egy új gráfmodellt a villamosenergia-átviteli és elosztóhálózati térképalapú nyilvántartási rendszerből származó adatokból. A modell kialakítása során kiemelt figyelmet fordítottam arra, hogy az élek és csomópontok megőrizzék az eredeti, ELMŰ-ÉMÁSZ áramszolgáltató által használt egyedi azonosítókat. Ennek köszönhetően a hálózat topológiai analízise mellett az eredeti azonosítók alapján a modellt a hálózat villamos paramétereivel kiegészítve további kutatásoknak ad teret.

Ilyen kutatómunka lehet annak vizsgálata, hogy az időjárásfüggő decentralizált villamos termelés (pl. napelem, szélenergia stb.) milyen lokális problémákat okozhat a hálózat villamos paramétereiben (meddőteljesítmény-áramlások, rövid és hosszú idejű feszültségletörések vagy túlfeszültségek stb.) [89, 90]. Hipotézisem szerint kidolgozható egy olyan eljárás, mellyel az időjárásfüggő decentralizált villamos termelők telepítésének engedélye a hálózat villamos paramétereire optimalizálva dönthető el. Feltételezem, hogy kidolgozható olyan eljárás, mellyel detektálhatóak a hálózat azon pontjai, amelyeknek cseréjével („gyenge pontok”) további engedélyek adhatóak ki anélkül, hogy a hálózat villamos paramétereit befolyásolhatnák.

További vizsgálat lehet a hibák jelenlegi és további klasszifikációjának kidolgozása után azok időjárási adatokkal való korrelációjának vizsgálata területi klaszterek szerint. Hipotézisem alapján felállítható olyan modell, mely alapján olyan válaszok kaphatóak, mint például

- 30 mm csapadék várható a holnapi napon Sárospatak térségében, ami várhatóan 20%-kal fogja megnövelni a kiefeszültségű elosztóhálózati múló zárlatok számát; vagy
- 75 km/órás dél-keleti szél esetén 70%-kal megnövekszik a 2001 előtti szabadvezetékes hálózaton a kiefeszültségű üzemzavarok száma Gödöllő térségében.

Ezen információk birtokában a hálózat üzemeltetői rugalmasabb készenléti, ügyeleti rendszert és optimális karbantartási stratégiát dolgozhatnak ki.

Rövidítések jegyzéke

AUC: Area Under Curve, (ROC) görbe alatti terület

CE: Cumulative Efficiency, kumulált hasznosság

CONAM: CONsumer Numberswith Attainability Matrices, fogyasztói szám meghatározása elérhetőségi mátrixszal

DSO: Distribution System Operator, elosztóhálózati engedélyes

ÉCS: adott naptári évben a csoportos hibák heti számának átlaga, azaz hogy az adott évben hány darab csoportos hiba volt egy héten

EÉGIS: ELMŰ-ÉMÁSZ GIS alapú hálózatnyilvántartó rendszer

ENTSO-E: European Network of Transmission System Operators, Európai Villamosenergiarendszer-irányítók Szövetsége

ETM: elosztóhálózati telemechanika

FLDa: Fault Location Determination , hibalokalizációt meghatározó algoritmus

FPR: False Positive Rate, negatív osztálybeliekre vett pontosság

GVA: gyorsvisszakapcsoló automatika

IT: informatika

KIF: kisfeszültségű elosztóhálózat

KÖF: középfeszültségű elosztóhálózat

LFS: Low-voltage Fault Schedule, kisfeszültségű hibaütemező

MAVIR: Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság

MEH 1 mutató: lásd.: SAIFI

MEH 2 mutató: lásd.: SAIDI

MEKH: Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal

NA: nincs adat

NAF: nagyfeszültségű átviteli hálózat

nlsLM: az R szoftver nemlineáris optimalizáció funkciójának elnevezése

RF: Random Forest, véletlen erdő

RMU: Ring Main Unit, körhálózati kapcsolóberendezés

ROC: Receiver Operating Characteristic

SAIDI: System Average Interruption Duration Index, a villamosenergia-ellátás hosszú idejű megszakadásának átlagos időtartama

SAIFI: System Average Interruption Frequency Index, a villamosenergia-ellátás hosszú idejű megszakadásának átlagos gyakorisága

SiSS: System Integration of Smart Switchboard model, az LFS rendszer felülvizsgálatából és kiterjesztéséből az SSB integrálásával előállt modell

STDNm: Sample of the Transmission and Distribution Network model, villamosenergia-átviteli és -elosztóhálózati gráfmodell alapján készített minta

TDNm: Transmission and Distribution Network model, villamosenergia-átviteli és elosztóhálózati gráfmodell

TMOK: telemechanikus oszlopkapcsoló

TPR: True Positive Rate, pozitív osztálybeliekre vett pontosság

TSO: Transmission System Operator, átviteli rendszerirányító

ÜZ: üzemzavar

VER: villamosenergia-rendszer

VET: villamosenergia-törvény, 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról

VKA: visszakapcsoló automatika

VU: végrehajtási utasítás

Irodalomjegyzék

- [1] Teleszkóp Üzleti Tanácsadó és Piackutató Kft.: A villamosenergia-szolgáltatással kapcsolatos felhasználói elégedettség mérésének 2017. évi eredményei (a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal megbízásából), Összefoglaló, 2018. április
- [2] HOLCSIK P., PÁLFI J.: Emergency Situations Management with the Support of Smart Metering, *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* (2016), Vol. 13, No. 3, pp. 195–206.
- [3] Nemzeti Fejlesztési Minisztérium: Nemzeti Energiastratégia 2030, Budapest, 2012, ISBN 978-963-89328-1-5
- [4] OLÁH F., RÓZSA G.: Villamosenergia-ellátás, UNIVERSITAS-GYŐR Nonprofit Kft., Győr, 2009, ISBN 978-963-9819-47-4
- [5] Magyar Szabványügyi Testület: MSZ 1:1993 Szabványos villamos feszültségek, ETO 621.311.1:621.3.015
- [6] 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról, Értelmező rendelkezések, 3. § (2); <https://net.jogtar.hu/vet> (olvasva: 2018. 11. 05.)
- [7] 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról, Értelmező rendelkezések, 3. § (9); <https://net.jogtar.hu/vet> (olvasva: 2018. 11. 05.)
- [8] MVM OVIT Zrt.: A magyar átviteli hálózat; <http://www.ovit.hu/wp-content/blogs.dir/23/files/2016/11/atviteli-halozat-1.jpg> (letöltve: 2018. 10. 01.)
- [9] MAVIR – Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító: A magyar villamosenergia-rendszer adatai, 2016; https://www.mavir.hu/documents/10258/45985073/ver_kiadvany_v15_javitott.pdf/93d413f4-db37-4907-80b9-ca1914fb8de3 (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [10] PÁLFI J: Big Data módszerek alkalmazása az áramszolgáltatásban, doktori értekezés, Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskola, Budapest, 2018
- [11] D_U-006-8/2016 ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. üzemirányítási szabályzata
- [12] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, MAVIR Zrt.: A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2016. évi adatai, <http://mekh.hu/a-magyar-villamosenergia-rendszer-ver-2016-evi-adatai> (letöltve: 2018. 10. 10.)

- [13] BULDYREV, V., PARSHANI, R., PAUL, G., STANLEY, H.E., HAVLIN, S.: Catastrophic Cascade of Failures in Interdependent Networks, *Nature* (2010), Vol. 464, pp. 1025–1028.
- [14] UCTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity): Final Report of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy, 2004; https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/publications/ce/otherreports/20040427_UCTE_IC_Final_report.pdf (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [15] HOLCSIK P., PÁLFI J.: SCADA funkciók használata a kiefeszültségű hálózati üzemirányításban, 10. Jubileumi Óbudai Energetikai Konferencia – Smart Cities. 156 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, Óbudai Egyetem, 2015. 11. 10. – 2015. 11. 11., ISBN: 978-615-5460-57-9
- [16] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal: Országgyűlési beszámoló, 2017; <http://www.parlament.hu/irom40/19230/19230.pdf> (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [17] E.ON Tiszántúli Áramhálózati Zrt. 7711/2018. számú MEKH határozat szerint átdolgozott elosztói üzletszabályzatának mellékletei, Budapest, 2018. ápr. 12.; <https://www.eon.hu/hu/lakossagi/aram/szabalyzatok-jogszabalyok/eon-tiszanantuliaramhalozati/eloszttoi-uzletszabalyzat.html> (letöltve: 2018. 05. 10.)
- [18] 24/2007 Magyar Energia Hivatal határozata, A melléklet: A villamos energia ellátás minimális követelménye és elvárt színvonala megállapítása
- [19] „1366-2012 – IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices” Revision of IEEE Std 1366-2003 (Revision of IEEE Std 1366-1998), May 31 2012., DOI 10.1109/IEEESTD.2012.6209381
- [20] AGAGAONKAR, Y.P., HAMMERSTROM, D.: Evaluation of Smart Grid Technologies Employed for System Reliability Improvement: Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Experience, *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, (2017). Vol. 4, No. 2, pp. 24–31.
- [21] D_VU_032/2016 A villamos hálózat műszaki nyilvántartásának üzemeltetése, ELMŰ Hálózati Kft., ÉMÁSZ Hálózati Kft., belső szabályzat
- [22] 24/2007 Magyar Energia Hivatal határozat, C melléklet
- [23] E.ON Hungária Zrt. elosztói szabályzata az elosztó hálózathoz való hozzáférés együttműködési szabályairól, 3. sz. módosítás, 2009. december 4., Budapest

- [24] HOLCSIK P.: IDCS – A jelen és a jövő üzemirányítói és hálózatfelügyeleti rendszere, MsC szakdolgozat, Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, ipari kommunikáció és felügyeleti rendszerek szak, Budapest, 2014
- [25] CSIHA CS.: Rendszerelméleti fogalmak, Dacia Könyvkiadó, Cluj-Napoca, 1989
- [26] POKORÁDI L.: Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, 2008
- [27] N_VU-038/1/2016 ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. végrehajtási utasítása az egyszemélyes munkavégzésről
- [28] N_VU-037/2013 ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. végrehajtási utasítása a helyismereti vizsga követelményekről
- [29] N_VU-036/2014 ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. végrehajtási utasítása a szerelői gépjárművek felszereltségének, belső rendjének szabályzatáról
- [30] N_VU-018/2015 ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. végrehajtási utasítása a fogyasztói csatlakozó és mérőhelyi munkák végrehajtásáról
- [31] D_VU-108/2013 ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. végrehajtási utasítása a védendő fogyasztók kezeléséről
- [32] N_VU-09/2015 ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. végrehajtási utasítása a régióközpontokban végzett diszpécseri munkáról
- [33] MAYER M.J.: A vezérelt áramtól az intelligens mérőrendszerekig, Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar, Budapest, 2012. ápr. 30.; http://energia.bme.hu/~kaszas/Energetika%20II/2012_hf/bevett/Mayer_Martin_J%C3%A1nos_intelligens_m%C3%A9r%C3%A9s.pdf (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [34] MORVA Gy.: Villamosenergetika, Digitális Tankönyvtár, Edutus Főiskola, 2012 https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_62_villamosenergetikai_rendszerek/ch03s06.html (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [35] CSANK A.: Távműködtetés megvalósítása az ELMŰ-ÉMÁSZ elosztóhálózatán, a MEH mutatók javítása érdekében, 55. Vándorgyűlés, Eger, 2008. szept. 9–12. http://www.mee.hu/files/images/3/B_45_Csank_A.pdf (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [36] GERS, J., HOLMES, T.: Protection of Electricity Distribution Networks, The Institution of Engineering and Technology, 2nd Edition, December 2004, ISBN-13: 978-0863415371
- [37] ORLAY I., KISS J.: A recloserek alkalmazási lehetőségei és ezzel kapcsolatos előnyök az ELMŰ-ÉMÁSZ középvezetési hálózatán, 61. Vándorgyűlés,

- Konferencia és Kiállítás, Debrecen, 2014. szept. 10–12.
http://www.mee.hu/files/images/files2/u9/5.%20Orlay_61VGY-recloser-v0_KJ.pdf
 (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [38] WÉBER Z.Á.: Smart grid hatása a fogyasztói zavartatás csökkentésére és ennek lehetséges fejlesztési stratégiája, 61. Vándorgyűlés, Konferencia és Kiállítás, Debrecen, 2014. szept. 10–12.
http://www.mee.hu/files/images/files2/u9/830_2_Weber_Patria_csut.pdf
 (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [39] WANG, L., SINGH, C.: Reliability-Constrained Optimum Placement of Reclosers and Distributed Generators in Distribution Networks Using an Ant Colony System Algorithm, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* (2008), Vol. 38, No. 6, pp. 757–764
- [40] DEHGHANI, N., DASHTI, R.: Optimization of Recloser Placement to Improve Reliability by Genetic Algorithm, *Energy and Power Engineering* (2011), Vol. 3, No. 4, pp. 508–512.
- [41] NOVOTHNY F.: Villamosenergia-rendszerek I., jegyzet, Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Budapest, 2010
- [42] PÓKA GY. (szerk.): Védelmek és automatikák villamosenergia-rendszerekben, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988; ISBN963-10-7554-0
- [43] LOURO, M., FORTUNATO, C., ALMEIDA, B., VERÍSSIOMO, M., PINTO PEREIRE, L., PIMENTA, F.: Getting real-time fault location information from multi-vendor legacy protection systems, 23rd International Conference on Electricity Distribution, CIRED, Lyon, 15–18. 06. 2015.
- [44] POURSHARIF, G., BRINT, A., HOLLIDAY, J., BLACK, M., MARSHALL, M.: Smarter Business processes resulting from Smart Data, 23rd International Conference on Electricity Distribution, CIRED, Lyon, 15–18. 06. 2015
- [45] POWELL, L.: Power System Load Flow Analysis, McGraw-Hill Education Press, 2004; ISBN 978-0071447799
- [46] Geometria Kft.: Az ELMŰ-ÉMÁSZ GIS rendszerének leírása, 2017;
<http://www.geometria.hu/?p=1357> (olvasva: 2018. 05. 14.)
- [47] Oracle súgó Javához, Oracle BI Discoverer, Verzió 4.2.6.1.0, 2003
- [48] SEMBERY, P.: Alkalmazott villamosságtan, Agrártudományi Egyetem, Gödöllő, 1987

- [49] CHEN, W.-K.: Graph theory and its engineering applications, Advanced Series in Electrical and Computer Engineering, Vol. 5, World Scientific Publishing Company, 1997; ISBN 978-9810218591
- [50] HOLCSIK P., POKORÁDI L., PÁLFI J.: Hálózati hiba esetén a végfelhasználói kiesések számának gráfelméleti meghatározása, *HADMÉRNÖK* (2018), XIII. évf., 3. szám, pp. 28–37.
- [51] BARABÁSI A.L.: A hálózatok tudománya, Libri Kiadó, Budapest, 2016
- [52] SZALAY K.ZS.: Biológiai hálózatok dinamikájának vizsgálata, doktori értekezés, Semmelweis Egyetem, Molekuláris Orvostudományok Doktori Iskola, Budapest, 2014; http://phd.semmelweis.hu/mwp/phd_live/vedes/export/szalaykristof.d.pdf (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [53] r-projekt.hu: Mi az R?; <http://r-projekt.hu/mi-az-r/> (olvasva: 2018. 11. 05.)
- [54] DUDÁS L.: Fontos jellemzők kiválasztása permutációk segítségével, szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Számítógéptudományi Tanszék, 2011, http://web.cs.elte.hu/blobs/diplomamunkak/bsc_mat/2011/dudas_laszlo.pdf (letöltve: 2018. 06. 08.)
- [55] BREIMAN, L.: Random Forests, *Machine Learning* (2001), Vol. 45, No. 1, pp 5–32.
- [56] SZABÓ A.: Random Forests – Véletlen erdők, <https://dms.sztaki.hu/sites/dms.sztaki.hu/files/file/2011/randomforests.pdf> (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [57] HOLCSIK P., TOMPA M.: ‚Electrician Forms’ Evaluation using Machine Learning Methods, elektroenergetika-konferencia, Stera Lesna, 2017, pp. 389–394, ISBN 978-80-553-3195-9
- [58] PÁLFI J., HOLCSIK P., TAKÁCS M., MITRIK ZS.: Determination of the fault identification accuracy in LV networks using the Fuzzy method, In: Szakál A. (szerk.) 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics Conference Proceedings: SMC 2016. Budapest, 2016. 10. 09. – 2016. 10. 12. ISBN 978-1-5090-1897-0
- [59] GEDA G., HERNYÁK Z.: Algoritmizálás és adatmodellek, Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ, 2011; https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0038_informatika_Geda_Gabor_Hernyak_Zoltan-Algorithmizalas_es_adatmodellek/ch04s02.html (letöltve: 2018. 07. 25.)

- [60] LAPTEVA, N., TÓTH B.: Programozzuk C++ nyelven – Az ANSI C++ tankönyve – CD melléklettel, COMPUTERBOOKS, 2011, ISBN: 9789636183462
- [61] D_VU_101/4/2019 ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. végrehajtási utasítása a garantált szolgáltatásokról
- [62] PÁLFI J., HOLCSIK P., POKORÁDI L.: Determination of Customer Number by Matrix Operations in Case of Network Failure, IEEE 12th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2018), Temesvár, Románia, 2018. 05. 17. – 2018. 05. 19., Temesvár: IEEE Hungary Section; IEEE Romania Section, 2018. pp. 555–560.; ISBN: 978-1-5386-4639-7
- [63] PÁLFI J., HOLCSIK P., NOVOTHNY F.: Reprezentatív kisfeszültségű elosztóhálózati modell kidolgozása, XXXIII. KANDÓ KONFERENCIA 2017: „Kandó a tudomány hajóján”. Absztrakt kötet. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017. 11. 23, Budapest: Óbudai Egyetem, p. 83. 1 p.
- [64] PÁLFI J., HOLCSIK P., TOMPA M.: Network Science Tools applied to Low Voltage Networks, 17th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2016). 370 p. Konferencia helye, ideje: Budapest: Magyarország, 2016. 11. 17. – 2016. 11. 19. Budapest: IEEE Hungary Section, 2016. pp. 41–47. (ISBN: 978-1-5090-3908-1)
- [65] GRANDJEAN, M.: GEPHI – Introduction to Network Analysis and Visualization, <http://www.martingrandjean.ch/gephi-introduction/> (olvasva: 2018. 10. 05.)
- [66] PAPP G.: Amit az olvadóbiztosítókról tudni érdemes IV., *Villanyszerelők lapja*, 2015. december; <https://www.villanylap.hu/lapszamok/2015/december/3939-amit-az-olvadobiztositokrol-tudni-erdemes-4> (letöltve: 2018. 03. 10.)
- [67] 160A 500Vac Type gL-gG size 00 NH fuse, Sunstore, <https://www.sunstore.co.uk/product/160a-500vac-type-gl-gg-size-00-nh-fuse/> (olvasva: 2018. 09. 07.)
- [68] Max-Power Co., <http://www.max-power.com/images/products/72.jpg> (letöltve: 2018. 11. 05.)
- [69] Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport Nagyfeszültségű Laboratórium: Mérési útmutató, 0,4 kV-os elosztószekrények és készülékeik, BME Villamos Energetika Tanszék, http://www.vgt.bme.hu/okt/v_lab_1/04es_szekreny.pdf (letöltve: 2018. 06. 13.)

- [70] PÁLFI J., TOMPA M., HOLCSIK P.: Intelligens elosztószekrények reclose funkciójának hatása a kiefeszültségű elosztóhálózat üzembavari mutatóira, XXXII. Kandó-konferencia: Kandó a tudomány hajóján. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016. nov. 17., Budapest: Óbudai Egyetem, 2016. pp. 57–58. (ISBN: 978-963-7158-07-0)
- [71] PÁLFI J., TOMPA M., HOLCSIK P.: Analysis of the Efficiency of the Recloser Function of LV Smart Switchboards, *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* (2017) Vol. 14, No. 2, pp. 131–150.
- [72] SCHNEIDER ELECTRIC: Compact NSX, Kiefeszültségű öntötházás megszakítók és szakaszolókapcsolók, Mérés és kommunikáció, Online katalógus, https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Compact+NSX+LQ.pdf&p_Doc_Ref=SE100_2011 (letöltve: 2018. 10. 05.)
- [73] PÁLFI J., NOVOTHNY F., HOLCSIK P.: A kiefeszültségű villamos elosztóhálózat hibacím ütemező rendszerelméleti megközelítése, *GRADUS* (2017), Vol. 4, No. 1, pp. 219–226.
- [74] HOLCSIK P., PÁLFI J.: Meghibásodott berendezés beazonosítása a kiefeszültségű elosztóhálózaton, XXVI. Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia, Kolozsvár, Románia, 2016. 10. 08. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, 2016. pp. 124–128.
- [75] N_VU_038_01/2016 Az mWFM rendszerrel kapcsolatos szerelői tevékenységek, ELMŰ Hálózati Kft., ÉMÁSZ Hálózati Kft., belső szabályzat
- [76] COOK, D.: Practical Machine Learning with H2O: Powerful, Scalable Techniques for Deep Learning and AI, O'Reilly Media, December 2016, ISBN-13: 978-1491964606
- [77] ELZHOV, T.V., MULLEN, K.M., SPIESS, A.N., BOLKER, B.: R Interface to the Levenberg-Marquardt Nonlinear Least-Squares Algorithm Found in MINPACK, Plus Support for Bounds, 2016 <https://cran.r-project.org/web/packages/minpack.lm/minpack.lm.pdf> (letöltve: 2018. 06. 14.)
- [78] MOREÉ, J.J.: The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory. In: Watson, G.A. (szerk.) Numerical Analysis. Lecture Notes in Mathematics, Vol 630 Springer, Berlin, 1978; <https://link.springer.com/chapter/10.1007%2FBFb0067700> (letöltve: 2018.06.10.)

- [79] KROESE, D.P., TAIMRE, T., BOTEV, Z.I.: Handbook of Monte Carlo Methods, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011
- [80] KEMÉNY S., DEÁK A.: Mérések tervezése és eredményeik értékelése, 2. kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1993; ISBN 963 10 9787
- [81] LEMESHOW, S., HOSMER, D.W.: A review of goodness of fit statistics for use in the development of logistic regression models, *American Journal of Epidemiology* (1982), Vol. 115, No. 1, pp. 92–106.
- [82] Műszaki Ügyfélszolgálati és Munkairányító Rendszer, MIRTUSZ 3.3.2.3, Felhasználói kézikönyv v 3.9, Geometria Kft., 2016. 06. 22.
- [83] VU_168/04/2016. ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. végrehajtási utasítása, MISZ Felhasználói kézikönyv
- [84] PÁLFI J., HOLCSIK P.: New Database and Theoretical Model for Power Distribution Networks, *ELEKTROENERGETIKA* (2017) : pp. 539–544.
- [85] HOLCSIK P., FODOR J.: Az ELMŰ-ÉMÁSZ múltja és jelene, *VILLAMOSMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK* (2018), Vol. 1, No. 1
- [86] HOLCSIK P.: Improving Quality of Service Indicators in Distribution Network by Applying Modern LV Network Management System, Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2016, Timisoara, Románia, 2016. pp. 431–436. (ISBN: 978-1-5090-2379-0)
- [87] HOLCSIK P., PÁLFI J., NOVOTHNY F., TOMPA M., ČONKA ZS., AVONICULUI, M.: Special decision support methodology for power companies, *POLISH JOURNAL OF MANAGEMENT STUDIES* (2019), ISSN: 2081-7452, *kiadás alatt*
- [88] HOLCSIK P., PÁLFI J., ČONKA ZS., AVONICULUI, M.: A System-Theory Approach To The Implementation Of Low-Voltage Smart Switch Boards, *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* (2019), Vol. 16, No. 4, pp. 133–151.
- [89] MOLNÁR T., PÁLFI J., HOLCSIK P.: Research of a solar panel park's impact connected to a public network in the interest of optimal electricity supply, XXXIII. KANDÓ KONFERENCIA 2017: „Kandó a tudomány hajóján”. Absztrakt kötet, Budapest, Magyarország, 2017. 11. 23. Budapest: Óbudai Egyetem, p. 98. 1 p.
- [90] MOLNÁR T., PÁLFI J., HOLCSIK P.: Decentralizált villamosenergia termelés napelem-parkkal közcélú hálózaton, XII. Óbudai Energetikai Konferencia. 132 p., Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017. 11. 14. Budapest: Óbudai Egyetem, 2017. pp. 119–131. (ISBN: 978-963-449-062-3)

Tudományos folyóiratcikk

- [HP1] HOLCSIK P., PÁLFI J., NOVOTHNY F., TOMPA M., ČONKA ZS., AVONICULUI, M.: Special decision support methodology for power companies, *POLISH JOURNAL OF MANAGEMENT STUDIES* (2019), ISSN: 2081-7452, *kiadás alatt*
- [HP2] HOLCSIK P., PÁLFI J., ČONKA ZS., AVONICULUI, M.: A System-Theory Approach To The Implementation Of Low-Voltage Smart Switch Boards, *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* (2019), ISSN: 1785-8860, *kiadás alatt*
- [HP3] HOLCSIK P., POKORÁDI L., PÁLFI J.: Hálózati hiba esetén a végfelhasználói kiesések számának gráfelméleti meghatározása, *HADMÉRNÖK* (2018), XIII. évf., 3. szám, pp. 28–37.
- [HP4] HOLCSIK P., FODOR J.: Az ELMŰ-ÉMÁSZ múltja és jelene, *VILLAMOSMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK* (2018), 1. évf., 1. szám, pp. 12-26
- [HP5] PÁLFI J., TOMPA M., HOLCSIK P.: Analysis of the Efficiency of the Recloser Function of LV Smart Switchboards, *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* (2017) Vol. 14, No. 2, pp. 131–150.
- [HP6] PÁLFI J., NOVOTHNY F., HOLCSIK P.: A kiefeszültségű villamos elosztóhálózat hibacím ütemező rendszerelméleti megközelítése, *GRADUS* (2017), Vol. 4, No. 1, pp. 219–226.
- [HP7] HOLCSIK P., PÁLFI J.: Emergency Situations Management with the Support of Smart Metering, *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* (2016), Vol. 13, No. 3, pp. 195–206.

Konferenciaközlemény folyóiratban vagy konferenciakötetben

- [HP8] PÁLFI J., HOLCSIK P., POKORÁDI L.: Determination of Customer Number by Matrix Operations in Case of Network Failure, IEEE 12th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2018), Temesvár, Románia, 2018. 05. 17. – 2018. 05. 19. Temesvár: IEEE Hungary Section; IEEE Romania Section, 2018. pp. 555–560.; ISBN: 978-1-5386-4639-7

- [HP9] HOLCSIK P., TOMPA M.: Electrician Forms' Evaluation using Machine Learning Methods, elektroenergetika-konferencia, Stera Lesna, 2017, pp. 389–394, ISBN 978-80-553-3195-9
- [HP10] MOLNÁR T., PÁLFI J., HOLCSIK P.: Decentralizált villamosenergia termelés napelem-parkkal közcélú hálózaton, XII. Óbudai Energetikai Konferencia. 132 p., Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017. 11. 14. Budapest: Óbudai Egyetem, 2017. pp. 119–131. (ISBN: 978-963-449-062-3)
- [HP11] PÁLFI J., HOLCSIK P.: New Database and Theoretical Model for Power Distribution Networks, *ELEKTROENERGETIKA* (2017) &: pp. 539–544.
- [HP12] HOLCSIK P., PÁLFI J.: Meghibásodott berendezés beazonosítása a kiefeszültségű elosztóhálózaton, In: Erdélyi Magyar Műszaki Társaság (szerk.), XXVI. Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2016. 10. 08. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, 2016. pp. 124–128.
- [HP13] HOLCSIK P.: Improving Quality of Service Indicators in Distribution Network by Applying Modern LV Network Management System, Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2016. 412 p. Konferencia helye, ideje: Timisoara, Románia, 2016. 05. 12. – 2016. 05.14. Budapest: IEEE, 2016. pp. 431–436. (ISBN: 978-1-5090-2379-0)
- [HP14] PÁLFI J., HOLCSIK P.: Szinergiák az AD&TE kutatócsoportban, XXXII. Kandó-konferencia: Kandó a tudomány hajóján. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016. 11. 17. Budapest: Óbudai Egyetem, 2016. pp. 59–60. (ISBN: 978-963-7158-07-0)
- [HP15] PÁLFI J., TOMPA M., HOLCSIK P.: Intelligens elosztószekrények reclose funkciójának hatása a kiefeszültségű elosztóhálózat üzemzavari mutatóira, XXXII. Kandó-konferencia: Kandó a tudomány hajóján. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016. nov. 17., Budapest: Óbudai Egyetem, 2016. pp. 57–58. ISBN: 978-963-7158-07-0
- [HP16] PÁLFI J., HOLCSIK P., TOMPA M.: Network Science Tools applied to Low Voltage Networks, 17th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2016). 370 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016. 11. 17. – 2016. 11. 19. Budapest: IEEE Hungary Section, 2016. pp. 41–47. ISBN: 978-1-5090-3908-1

- [HP17] PÁLFI J., HOLCSIK P., TAKÁCS M., MITRIK ZS.: Determination of the fault identification accuracy in LV networks using the Fuzzy method, In: Szakál A. (szerk.) 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics Conference Proceedings: SMC 2016. Budapest, 2016. 10. 09. – 2016. 10. 12. ISBN 978-1-5090-1897-0
- [HP18] HOLCSIK P., PÁLFI J.: SCADA funkciók használata a kiefeszültségű hálózati üzemiirányításban, 10. Jubileumi Óbudai Energetikai Konferencia – Smart Cities. 156 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015. 11. 10. – 2015. 11. 11. Budapest: Óbudai Egyetem, 2015. ISBN: 978-615-5460-57-9

Absztrakt

- [HP19] MOLNÁR T., PÁLFI J., HOLCSIK P.: Research of a solar panel park's impact connected to a public network in the interest of optimal electricity supply, XXXIII. KANDÓ KONFERENCIA 2017: „Kandó a tudomány hajóján”. Absztrakt kötet. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017. 11. 23. Budapest: Óbudai Egyetem, p. 98. 1 p.
- [HP20] PÁLFI J., HOLCSIK P., NOVOTHNY F.: Development of a new fault-localization algorithm for low voltage networks, XXXIII. KANDÓ KONFERENCIA 2017: „Kandó a tudomány hajóján”. Absztrakt kötet. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017. 11. 23. Budapest: Óbudai Egyetem, p. 86. 1 p.
- [HP21] PÁLFI J., HOLCSIK P., NOVOTHNY F.: Reprezentatív kiefeszültségű elosztóhálózati modell kidolgozása, XXXIII. KANDÓ KONFERENCIA 2017: „Kandó a tudomány hajóján”. Absztrakt kötet. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017. 11. 23., Budapest: Óbudai Egyetem, p. 83. 1 p.

Ábrajegyzék

1. ábra	A magyar átviteli hálózat, 2016. 11. 11-én aktuális állapot [8].....	9
2. ábra	Villamosenergia-rendszerek Európában [9]	9
3. ábra	A villamosenergia-rendszer hierarchikus felépítése [10]	10
4. ábra	Az ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. területén 2014. 01. 01. és 2017. 12. 31. között bekövetkezett KIF-, KÖF- és NAF-üzemzavarok hatásának aránya a SAIDI és SAIFI mutatókra.....	17
5. ábra	Íves és gyűrűs hálózatok szemléltetése [10].....	19
6. ábra	A jelenlegi KIF villamos elosztóhálózati hibaelhárítás folyamata [10]	21
7. ábra	A jelenlegi KIF-elosztóhálózati hibaelhárítás folyamatának m hibacímre és m szerelőcsapatra történő kiterjesztése.....	22
8. ábra	Egyszerűsített általános matematikai modell egy mérnöki probléma megoldására [10] u – input gerjesztések, M – modell, p – a modell paramétere, y – kimenet....	22
9. ábra	A javasolt kisméretű hibacímütemező-rendszer (LFS) egyszerűsített matematikai modellje.....	22
10. ábra	A Pálfi által bevezetett LFS rendszer folyamatábrája	24
11. ábra	ETM és TMOK alkalmazásának hatékonysága, ahol a hatékonyság dimenziója a fajlagos MEH 1 mutató javulása (10^{-6} db/MFt) [35]	27
12. ábra	Hibaelhárítás lépéseinek egyszerűsített folyamatábrája [10].....	29
13. ábra	a) sikeres, b) sikertelen GVA-ciklus lefolyásának szemléltetése [34].....	31
14. ábra	Az EÉGIS rendszer megjelenítési felületei [46].....	36
15. ábra	Az EÉGIS rendszer felépítése és külső kapcsolatai [21].....	37
16. ábra	Egy Oracle BI Discoverer rendszerben készített lekérdezés	39
17. ábra	Irányított (a) és irányítatlan (b) véges gráf [26].....	40
18. ábra	Teljes gráfok [26].....	41
19. ábra	Fa gráfok [26]	42
20. ábra	A véletlen és a skálafüggetlen hálózatok közötti különbség szemléltetése [52]	46
21. ábra	Véletlen erdő építése I. [56].....	48
22. ábra	Véletlen erdő építése II. [56]	48
23. ábra	Az N-Fold működésének szemléltetése [57]	49
24. ábra	Jellemző ROC görbék és értékelésük [54].....	52
25. ábra	KIF-hálózat szemléltetése [10]	54
26. ábra	Beltéri KÖF/KIF-transzformátorállomásban elhelyezett beltéri (a) és kültéri (b) KIF-elosztószekrény	55
27. ábra	Egy jellemző KIF-hálózat egyvonalas villamos rajza [58].....	55
28. ábra	Egy jellemző KIF-hálózat gráfja.....	56

29. ábra	A KIF-hálózati gráf, csomópontokban fokszámmegjelöléssel	57
30. ábra	A CONAM módszer bemutatását szolgáló példagráfmodell	59
31. ábra	Az EÉGIS rendszer kiexportált adatai (részlet).....	62
32. ábra	A koordináták egybeesését szemléltető KIF-hálózatrészlet az EÉGIS rendszerében 63	
33. ábra	KIF-hálózatrészlet felépítése gráfmodellen.....	63
34. ábra	Az elosztószekrény számított koordinátapontja	64
35. ábra	A kapcsolati tér szemléltetése.....	65
36. ábra	A koordináták különböző feszültség szinteken való eltolódásának szemléltetése ...	67
37. ábra	A TDNm grafikus megjelenítése	68
38. ábra	A TDNm grafikus megjelenítése (Budapest).....	69
39. ábra	A TDNm grafikus megjelenítése (Budapest, belváros).....	70
40. ábra	Az STDNm grafikus megjelenítése	74
41. ábra	NKI típusú KIF-biztosítók [67]	78
42. ábra	KIF-biztosító aljzatban [68].....	78
43. ábra	gG kategóriájú késes olvadóbetétek karakterisztikája [66]	79
44. ábra	Késes olvadóbiztosító felépítése [69]	79
45. ábra	Az SSB koncepció egy lehetséges megvalósítása [72].....	81
46. ábra	A SiSS modell.....	82
47. ábra	SSB reclose funkciójának hatása KIF-hibakiadó rendszerre.....	86
48. ábra	Az ELMŰ-ÉMÁSZ Társaságcsoporthoz mWFM rendszere használat közben	88
49. ábra	CE(N) eredményadatsorának ábrázolása, 2014 (piros) és 2015 (kék).....	93
50. ábra	A CE(F) eredeti adatsor (piros) és a 3. rendű polinomiális regresszióval készített adatsor (kék) a 2015-ös minta alapján	94
51. ábra	A CE(F) eredeti adatsora (piros), a 3. rendű polinomiális regresszióval készített adatsor (kék) és a reziduálisok (zöld) a 2015-ös minta alapján.....	95
52. ábra	CE(F) 2014 (piros) és 2015 (kék) eredményadatsorának ábrázolása a $80 < F < 180$ intervallumban	96
53. ábra	A klasszifikációs modell pontossága	100
54. ábra	Tesztadatok ROC görbéje.....	102
55. ábra	Tanulási adatok ROC görbéje.....	102
56. ábra	CE(F) bővített eredményadatsorának ábrázolása a 2014–2017 naptári évek adatainak elemzése alapján.....	103
57. ábra	A CF(N) adatsorra való illesztés iterációja eredményeinek kumulált hibái	105
58. ábra	A CE(F,CF) adatpontjai és a polinomos regresszió eredménye	107
59. ábra	Hibabejelentés-lista a MIRTUSZ rendszerben	130

60. ábra	Hibabejelentés részletes adatai a MIRTUSZ rendszerben.....	131
61. ábra	<i>Hiba, üzemzavar lista</i> a MIRTUSZ rendszerben.....	132
62. ábra	Egy fiktív hiba részletes adatai a MIRTUSZ tesztrendszeréből.....	133
63. ábra	TDNm NAF-hálózati kapcsolatai	136
64. ábra	A TDNm NAF-, KÖF- és KIF-kapcsolatainak grafikus megjelenítése.....	136
65. ábra	A TDNm kapcsolatainak grafikus megjelenítése	137
66. ábra	A TDNm kapcsolatainak háromdimenziós ábrázolása.....	137

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézetének és a Biztonságtudományi Doktori Iskolának, hogy helyet adott a témának és támogatta kutatómunkámat.

Köszönetemet fejezem ki Novothny Ferenc témavezetőmnek és Morva Györgynek sokéves szakmai támogatásáért és értekezésem elkészítésében nyújtott folyamatos és áldozatos segítségéért. Külön köszönettel tartozom Pokorádi Lászlónak és Kádár Péternek szakmai és tudományos támogatásukért.

Kutatásaim az Óbudai Egyetem Alkalmazott Tudományágak és Technológiák az Energetikában (AD&TE) kutatócsoportban valósult meg. Külön köszönöm kutatótársaimnak, Pálfi Juditnak, Tompa Miklósnak, Soltész Péternek, Dineva Adrienn-nek és Cónka Zsoltnak a közös munkát.

Köszönöm Fodor József, az ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. jelenlegi és Molnár József egykori ügyvezető igazgatójának, valamint Nagy Zoltánnak az ELMŰ-ÉMÁSZ Solutions Kft. ügyvezető igazgatójának, hogy kutatásom támogatták. Külön köszönöm a kutatási célra rendelkezésemre bocsájtott adatokat a Hálózatokumentációs Osztály vezetőjének, Bakonyi Péternek és munkatársainak, Fejes Tibornak és Bányai Péternek. Köszönöm a szakmai támogatást a teljes Szolgáltatáskoordinációs Osztálynak (SZKO), kiváltképp Kling Krisztiánnak, Becsjanszki Zsoltnak és Venczel Gábornak, valamint a Pesti Régió diszpécserszolgálatának, kiváltképp Gál Jánosnak.

Külön köszönöm Fodor József és Nagy Zoltán igazgató úrakkal, valamint Kovács Zoltánnak, az SZKO osztályvezetőjének, hogy kutatómunkám elvégzéséhez munkaidő-kedvezményt biztosítottak, továbbá Kocsis Bencének, hogy ez idő alatt helyettesítésemet ellátta.

Köszönöm a szigorlati bizottsági tagoknak, az opponenseknek, az elnöknek, a tartalék elnöknek, a titkárnak és a külső tagoknak áldozatkész közreműködésüket a fokozatszerzési eljárásban.

Végül, de nem utolsósorban szeretném megköszönni családomnak, kiváltképp feleségemnek, aki végtelen türelemmel állt (állapotosan, majd egy csodálatos gyermekkel) mellettem, és támogatott mindenben, hogy a közölt kutatási eredmények és a jelen értekezés létrejöhessenek.

Mellékletek

1. melléklet: Saját lekérdezés, Zavartatások részletesebb adatai az ELMŰ Hálózati Kft. és ÉMÁSZ Hálózati Kft. által rendelkezésemre bocsájtott BI rendszerből. Futtatás időpontja: 2018. 07. 26., 14:35:45

Zavartatások részletesebb adatai
Futtatás időpontja: 2018.07.26. 14:35:45

Vállalat	Feszültségcsoport	Zavartatási események száma (db)	Késési időtartama (óra)	Összegettsített idő (óra)	Késített energia (kWh)	Átlagos késési idő (min)	Átlagos késési teljesítmény (MW)	Erőnőtt fogyasztók száma (db)	MEH1	MEH2 (perc)	MEH3 (perc)	Összegettsített üzemzavar időtartama (óra)	Nem üzemzési állapotok (db)	3 perces belüli elfordított fogyasztók száma
ELMŰ	0,4 kV egyedi	59 359	177 079,84	186 148,76	76 899,52	2,97	1,29	59 386	0,03092	7,32480	187	190,92	15	
	0,4 kV csoportos	15 946	49 151,50	1 843 765,71	826 613,94	3,08	51,84	662 002	0,434001	72,558224	167	198 052,38	39 954	
	10 kV (11 kV)	2 274	3 184,69	1 794 335,84	1 625 853,00	1,40	714,97	2 379 519	1,560214	70,608091	45	189 696,04	17 504	1055479
	20 kV (22 kV)	1 620	3 842,66	1 975 159,31	1 739 797,40	2,37	1 073,95	2 093 186	1,372093	77,675974	57	241 518,62	21 271	714865
	35 kV	17	24,54	12 366,77	30 232,45	1,44	1 778,38	34 103	0,022291	0,484740	22	0,00		1 0704
120 kV (132 kV)	5	0,47	9 142,57	6 534,99	0,09	1 307,00	121 338	0,079704	0,360410	5				
ELMŰ összesen		79 421	233 283,70	5 820 918,96	4 305 931,30	2,94	54,22	5 349 734	3,507394	229,011929	65	629 457,96	78 744	1781048
ÉMÁSZ	0,4 kV egyedi	52 286	111 554,02	1 118 805,02	47 880,07	2,13	0,92	52 313	0,071347	9,721676	136	46,08	14	
	0,4 kV csoportos	19 097	41 237,13	1 266 655,38	470 101,70	2,16	24,62	616 083	0,840316	103,673262	123	94 318,61	52 270	
	10 kV (11 kV)	195	198,73	1 75 540,12	74 721,99	1,02	383,19	302 382	0,412398	14,363859	35	19 016,05	1 532	80080
	20 kV (22 kV)	2 376	5 080,36	2 371 840,58	1 401 106,83	2,14	589,69	2 389 477	3,258844	194,099468	60	57 110,31	9 239	1533305
	30 kV	1	4,30	344,25	374,00	4,30	374,00	81	0,000111	0,028182	255	2 363,85	81	
35 kV	42	67,64	6 228,75	23 041,06	1,61	548,60	21 935	0,029563	0,510024	17	524,72	189	1	
120 kV (132 kV)	4	1,05	22 582,74	8 776,80	0,26	2 181,70	112 404	0,153354	1,849518	12				
ÉMÁSZ összesen		74 001	158 149,23	3 961 996,84	2 025 952,45	2,14	27,38	3 494 075	4,766332	324,245989	68	173 379,62	63 325	1613386
Végösszeg		153 422	391 426,93	9 782 915,80	6 331 883,75	2,55	41,27	8 844 409	8,273726	553,257917	67	802 837,58	142 069	3394434

Beállított szűrők:

Esemény típus **Nem tervezett zavartatás**
és Vállalat **Minden érték**
és Vizsgált időszak **2014.01.01,2017.12.31**
és Érvényes **2018.07.26**
és Esemény oka csoport **Minden érték**
és Esemény oka **Minden érték**
és Üzemeltetési régió **Minden érték**
és MEH engedély **MEKH által elfogadottakkal korrigált érték**
és Zavartatás azonosítója **Minden érték**
és Engedélyesi terület **Minden érték**
és Főelosztó, Hálózatiirányítás **Minden érték**
és Feszültségcsoport **0,4 kV egyedi,0,4 kV csoportos,10 kV (11 kV),20 kV (22 kV),30 kV,35 kV,120 kV (132 kV)**
és Esemény helye **Minden érték**
és Munkaidő alatti esemény **Minden érték**

2. melléklet: Az ELMŰ-ÉMÁSZ MIRTUSZ rendszerének a kutatás számára releváns adatmezői

A hibabejelentés-listában a telefonközpontban (TeleCentrum, TC) felvett hibabejelentések szerepelnek.

Cím	Régió	Disztrikciós központ	Hrsz.	Acsothely	MSZ-munkaszám	Bejelentés időpontja	Megbeszélési időpont	Hibabejelentés	Észlelt hiba
...	411730	...	...	07.08.11	...	...	...
...	411343	...	...	07.08.17.59	...	...	...
...	411589	...	...	07.08.18	...	...	...
...	411617	...	...	07.08.20.16	...	...	...
...	411789	...	...	07.08.24	...	...	...
...	411790	...	...	07.08.25	...	...	...
...	411790	...	...	07.08.25	...	...	...
...	411549	...	...	07.08.27	...	...	...
...	411610	...	...	07.08.29	...	...	...
...	411686	...	...	07.08.29	...	...	...
...	411594	...	...	07.08.29.59	...	...	...

59. ábra Hibabejelentés-lista a MIRTUSZ rendszerben (saját ábra)

Az Ábra 59.-en is látható hibabejelentés számos, de nem valamennyi adatot tartalmaz. Az egyes címek részletes adatait meghívva az alábbi adatok érhetőek el (a kutatómunka számára nem releváns adatok nem kerültek felsorolásra):

1. **Sürgős:** A hiba elhárításának sürgőssége. A riasztásos (életveszélyes) hibák esetén értéke *igen*, egyébként *nem*.
2. **Fogyasztói szám:** Annak a fogyasztási helynek az egyedi azonosítója, amelyre a bejelentés vonatkozik.
3. **Fogyasztói kategória:** Lehet *normál*, *áramkörös*, *nagyfogyasztó*, *önkormányzat*.
4. **Felvéve:** A hibabejelentés MIRTUSZ-ba történő rögzítésének ideje.
5. **Bejelentésforma:** A bejelentés felvételének módja, értéke lehet: *telefon*, *fax*, *e-mail*, *levél*, *internet*, *személyesen*.
6. **Település, utca, hrsz., házszám, emelet, ajtó, címkiegészítés:** Azon hely adatai, amelyre a hibabejelentés vonatkozik.
7. **Észlelt hiba:** A TC-s ügyintéző által a bejelentés alapján megállapított hiba.
8. **Megbeszélési idő:** a javításra megbeszélési időintervallum.
9. **Kezdeti idő:** a felvett idők alapján a rendszer által kiszámított időpont

10. *Határidő*: a felvételi idők alapján a rendszerben (GSZ szabályzatban) rögzítettek alapján kiszámított idő.

11. *Megjegyzés*: szabad szöveges, a TC-s ügyintéző által használható mező.

12. *MISZ-munkaszám* : MISZ²⁷ által megadott munkaszám” [82]

60. ábra Hibabejelentés részletes adatai a MIRTUSZ rendszerben (saját ábra)

Az *Ábra 60.*-on is látható bejelentésekből a munkairányító diszpécser munkautasítást hoz létre, amely a *Hiba, üzemzavar listába* kerül. A MIRTUSZ rendszer *hibaként* definiálja a KIF-üzemzavarokat, míg *üzemzavarként* a KÖF-üzemzavarokat. A KÖF-üzemzavarok MIRTUSZ rendszerben történő megjelenítésének oka, hogy a KIF-üzemirányítók munkairányító feladatokat is ellátnak. Ez azt jelenti, hogy egy KÖF-hálózaton keletkezett üzemzavar elhárításához a KÖF-üzemirányító a KIF-üzemirányítótól (más néven: KIF-diszpécserrel) kér szerelőkapacitást. A KIF-diszpécsernek tisztában kell lennie szerelőinek jogosultságával (2.2 fejezet, *k* paraméter) annak eldöntéséhez, hogy mely csapatokat adhatja át.

A *Hiba, üzemzavar listáról* mutat egy pillanatfelvételt a *61. ábra*:

²⁷ MISZ, Műszaki Információs Szoftver: a MISZ program célja elsősorban az ELMŰ és ÉMÁSZ vállalkozói és szerelői által végzett fogyasztói mérők cseréjének ügykövetése, számítógéppel támogatott adminisztrációja. Ugyanakkor lehetőséget nyújt mérőkhöz kapcsolódó egyéb munkák kiadására, feldolgozására is. [83]

Tárgy	D/Ú	PM rendelés	Cím	Régió	Diszpécser-körzet	Azonosító	Hálózat adat	Kezdet idő	Név
Ház részben sömít (fázishány)	Ü		Tokaj	Pest	DP Ráckeve - Fülöp	30275 20/1/4 SZIH-Tokaj/SZIH		07.30.08.07	
MSZ - Automata hiba	Ü		Dunaujvári	Pest	EP Ráckeve - Sisa	12644 20/1/2 DUKE-Konzenygyár/DUKE		07.30.15.00	
MSZ - Egész ház sömít (egykásos ház)	Ü		Budaörs	Pest	EP Ráckeve - Muczo	11728 20/1/4 RKEER-Gödöllő/RKEER		07.30.11.06	
MSZ - Ház részben sömít (fázishány)	Ü		Pécel	Pest	EP Ráckeve - Muczo	10615 20/1/5 RKEER-Gödöllő/RKEER		07.30.11.26	
Hőelosztó készlet nem működik	Ü		Budaörs	Pest	EP Ráckeve - Borsányi	12235 10/1/7 ZUGL-Pestújhegy/ZUGL		07.30.11.27	
Ház részben sömít (fázishány)	Ü		Gödöllő	Pest	EP Ráckeve - Bella	10189 20/1/4 GÖDÖ-Agrár/GÖDÖ		07.30.11.43	
Központi szekas hiba	Ü		Kistart	Pest	EP Ráckeve - Bella			07.30.11.25	
Központi szekas hiba	Ü		Kistart	Pest	EP Ráckeve - Bella			07.30.11.26	
Központi szekas hiba	Ü		Kistart	Pest	EP Ráckeve - Bella			07.30.11.42	
Ház részben sömít (fázishány)	Ü		Budaörs	Pest	EP Ráckeve - Miklós	11476 20/1/3 MFOL-Rákospalota/MFOL		07.30.12.18	Érzékeny adat
MSZ - Hőelosztó készlet nem működik	Ü		Budaörs	Pest	KP Péterfy VIII. Vil. Szabó	22767 10/1/2 KATO-Rudas/KATO		07.30.12.35	
MSZ - Automata hiba	Ü		Budaörs	Pest	EP Ráckeve - Miklós	11352 20/1/5 MFOL-Aradi/MFOL		07.30.12.30	
Központi szekas hiba	Ü		Gödöllő	Pest	EP Ráckeve - Bella			07.30.12.06	
Központi szekas hiba	Ü		Gödöllő	Pest	EP Ráckeve - Bella			07.30.12.15	
Központi szekas hiba	Ü		Nagyf.	Pest	EP Ráckeve - Muczo			07.30.11.43	
MSZ - Elm mérő meghibásodás	Ü		Budaörs	Pest	KP Péterfy VIII. - Kovács	22795 10/1/5 ERZS-Somogy/ERZS		07.30.12.50	
GÖDÖ-kiszárasztás	Ü	2230145497	Csömény	Pest	EP Ráckeve - Miklós	10084 20/1/1 GÖDÖ-Histories/GÖDÖ		07.30.12.59	
Csoportos hiba	Ü		Kerep	Pest	EP Ráckeve - Bella	10318 20/1/5 GÖDÖ-Mogyorósd/GÖDÖ		07.30.13.08	
Csoportos hiba	Ü		Budaörs	Pest	KP Péterfy VIII. - Lázár	20989 10/1/5 KÖTE-Dózsa/KÖTE		07.30.13.12	
Egész ház sömít (egykásos ház)	Ü		Gyöm.	Pest	DP Erzsébet - Teleki	30778 20/1/1 ULLO-Gyömrő/ULLÓ		07.30.13.13	

61. ábra Hiba, üzemzavar lista a MIRTUSZ rendszerben (saját ábra)

A bejelentésekhez hasonlóan az *Ábra 61.*-en is látható ablak csak áttekinthető adatokat tartalmaz. (A kutatómunka számára nem releváns adatok nem kerültek felsorolásra):

1. *Tárgy*: hibabejelentés esetén *Egyedi hiba* vagy *Csoportos hiba* megnevezés jelenik meg.
2. *PM rendelés*: adott munkához tartozó SAP PM²⁸ rendelés.
3. *Cím*: hibabejelentésnél a bejelentő által megadott cím (TeleCentrumban beírt adat), vagy az elem részletes adatlapján megadott cím.
4. *Régió*: amelyik régióba tartozik az esemény.
5. *Diszpécser-körzet*: amelyik körzetbe tartozik az esemény.
1. *Hálózat adat*: az az áramkör/transzformátor/vonal/alállomás, amin a hiba van – ezt a rendszer állapítja meg a cím alapján, vagy a felhasználó írja be.
2. *Kezdet idő*: hibabejelentésnél a felvétel időpontja (amikor a TC rögzítette), munkáknál a munka kezdetét tartalmazza, ha ez nincs kitöltve, akkor a létrehozás (felvétel) rendszer által rögzített időpontját jelzi.
3. *Név*: a folyamatban lévő munkautasításban található műszak adatai (több esetén az első műszak adatai).
4. *Szerelőkocsi*: annak a szerelőkocsinak a rendszáma vagy hívószáma, amit a munka elvégzéséhez használnak.
5. *Eltelt idő*: a hibabejelentés vagy elemfelvétel időpontja óta eltelt idő.

²⁸ SAP PM rendelés: gazdasági, pénzügyi rendszer által generált egyedi azonosító

6. Határidő: a hiba/üzemzavar elhárítására GSZ szerint megszabott határidő.

A munkák ikonjának színezése az adott munka státuszára utal. Például fehér ikon: a munka *Tervezve* státuszban van, világossárga ikon: a munka *Felvéve* státuszban van és nincs munkautasítás, sötétsárga ikon: a munka *Felvéve* státuszban van és van erőforrás nélküli munkautasítás, szürke-piros X ikon: a munka *Törölve* státuszban van stb.[82]

Ezen adatok mellett azonban részletes adatokat a *Hiba részletes adatai* mező tartalmaz, mely a *Hiba, üzemzavar listából* egyszerűen meghívható:

The screenshot shows the 'Hiba részletes adatai' (6489612) window. It contains the following information:

- Státusz:** Elintézve
- Egis azonosító:** 10300013-S-K-ST-01432-TE
- Műszaki hely:** Budapest III. 1432 számú 10/0.4-os állomás
- PM rendelés:** BU 2230126131
- Munka felelőse:** Holcsik Péter
- Hiba kezdete:** 2018.07.30 12:43
- Várható vége:** [empty]
- Munka vége:** 2018.07.30 13:43
- Alállomás/vonal:** BÉKM/BÉKM-Ceillaghegy
- Transzformátor:** 41432 10/1
- Áramkör:** Teljes tr.
- Ellátott fogyasztó:** 1F 90, 2F 14, 3F 292, 3Fk 292
- Kiesés:** 1F+332, 2F+366, 3F+396
- energia (kWh):** 188.10
- Műszakok:** 1: Holcsik, Venczeim WFM (KJK-644) (70/397-62-05) (07.30 06.00) 2018.07.30 13:43
- Hiba oka:** Érintkezési hiba
- Hibahely kat.:** Kábelhálózat
- Hibahely:** Kábel
- Munka lezárás:** Végleg rendben
- Csoportos hiba:** Igen
- Kiesett fáziszám:** 3
- Összegzett kiesett idő:** 376.20
- Kiesett energia (kWh):** 188.10
- Érintett fogyasztók:** 396
- Fogyasztó ellátva:** 2018.07.30 13:40
- Kiesett berendezés:** [empty]
- Nem üz. ellátott idő:** 0.00
- Nem üz. energia (kWh):** 0.00
- Megjegyzés:** gyakran kiold. kivizsgálásra továbbítandó

62. ábra Egy fiktív hiba részletes adatai a MIRTUSZ tesztrendszeréből (saját ábra)

A hiba részletes adatai az alábbi rekordokat tartalmazzák (a kutatómunka számára nem releváns adatok nem kerültek felsorolásra):

1. *Egis azonosító:* azon műszaki objektum EÉGIS azonosítója, amelyhez kapcsolódik a bejelentés.
2. *Műszaki hely:* az az áramkör/transzformátor/vonal/alállomás, amelyre vonatkozik a munka – ezt a rendszer állapítja meg a cím alapján.
3. *Hálózati adatok:* ha a cím bejelentésből indult, nem pedig manuálisan lett felvéve, akkor a hálózati adatokat (*Alállomás/vonal, Transzformátor, Áramkör*) a cím alapján a rendszer biztosítja, de ez felülbíráható: a transzformátor, illetve az áramkör átállítható.

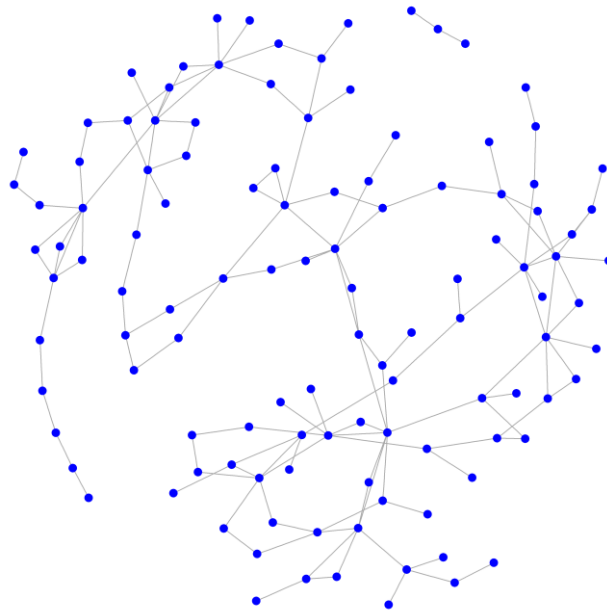
4. *Érintett fogyasztó*: az *1F*, *2F*, *3F* és *3Fk* mezők tartoznak ebbe a körbe. Ezek értékeit a nem közvilágítási csoportos hibákra automatikusan meghatározza a rendszer az aktuális hálózati adatokból és a kiesett berendezésből.
5. *Előzmény*: Csoportos hibáknál használható funkció. Az *Előzmény* gomb lenyomása után a hálózati adatokban szereplő transzformátorhoz, illetve áramkörhöz tartozó előzmény események adatait jeleníti meg (ha vannak) egy külön ablakban.
6. *Csoportos hiba*: Értéke *Nem* vagy *Igen* lehet. Csoportos hiba: egynél több fogyasztót érintő zavartatás.
7. *Tervezett kezdés*: a munkautasítás tervezett kezdési időpontja (egyszeri kiszállás – egy munkautasítás).
8. *Hiba ok*: listából választható, melynek elemei: *Egyéb*, *Érintkezési hiba*, *Ismeretlen*, *Külső behatás*, *Lopás*, *Nincs hiba*, *Szakadás*, *Szerelési hiba*, *Szerkezeti hiba*, *Törés*, *Tűzeset*, *Zárlat*.
9. *Hibahely kat.*: Listából választható, melynek elemei: *Csatlakozó vezeték*, *Egyéb*, *Fogyasztásmérő körüli*, *Idegen tulajdonú berendezés*, *Kábelhálózat*, *Középfeszültségű hálózat*, *Közvilágítás*, *Szabadvezeték-hálózat*, *Transzformátor-állomás*. Megadása kötelező a lezáráskor, ha üres a mező *Elintézve* státusznál, akkor hibaüzenetet kapunk mentéskor.
10. *Hibahely*: Csak akkor tölthető ki, ha a *Hibahely kat.* ki van töltve. Listából választható, melynek elemei a kategóriától függenek. Megadása kötelező lezáráskor, ha üres a mező *Elintézve* státusznál, akkor hibaüzenetet kapunk mentéskor.
11. Hálózati adatok kezelése teljes transzformátorállomásra vonatkozóan: Ha a *Hibahely* mezőben olyan értéket választunk, amelynek jellegattribútuma teljes transzformátorállomásra vonatkozik (ilyen a *Nagyfeszültségű biztosító*), és van hálózati adat, akkor a hálózati adatokban az *Áramkör* mezőbe automatikusan beírja a rendszer a *Teljes tr.* értéket, és a mezőt nem módosíthatóvá teszi. Ha nincs hálózati adat, akkor az *Áramkör* mező üres, nem módosítható, és csak a hálózati adat felvétele után veszi fel automatikusan a *Teljes tr.* értéket.
12. A *Megjegyzés* mezőbe tetszőleges kapcsolódó szöveg vehető fel. Pl. a *Szerelői jelentés* szöveges kiegészítése, ami a hibaelhárításra vonatkozó, máshol fel nem tüntethető adat, megjegyzés.

13. *Kiesett fázisszám*: A kiesett fázisok száma. A kiesett fázisszám lehetséges értékei 1, 2, 3. Ezt a szerelő terepi eszközén a munkához kitölti, vagy az adatlapon manuálisan megadható.
14. *Z*: A választólista felett található mező megmutatja, hogy a szerelő mely fázisokat jelölte kiesettnek (*PSZ, SZ, PS, PZ, P, S, Z* értékeket vehet fel).
15. *Összegzett kiesési idő*: A nem üzemszerű ellátás ²⁹ és a hálózati adatok figyelembevételével a rendszer automatikusan számolja. Számításához szükséges, hogy a hálózati adatok és a hálózati adatok táblázatának a kiesési időre (*Kiesés kezdete* és *Kiesés vége*) és a fogyasztószámra (*Kiesett fogyasztók*) vonatkozó mezői ki legyenek töltve.
16. *Ellátott fogyasztók*: A kiesett fogyasztók száma. Számításához szükséges, hogy a hálózati adatok ki legyenek töltve. A rendszer automatikusan elvégzi a számítást ezek alapján.
17. *Kiesett energia (kWh)*: A rendszer automatikusan elvégzi a számítást a hálózati adatokban rögzítettek szerint.
18. *Fogyasztó ellátva*: A mező manuálisan módosítható. A megadott időpontnak a hiba kezdete és a munka vége közé kell esnie.
19. *Kiesett berendezés*: A kiesett berendezés a kiesett EÉGIS-objektum (erőátviteli áramköri főkapcsoló, kapcsoló, biztosító, kábelvezeték, szabadvezeték, csatlakozóvezeték, átalánydíjas fogyasztó) egyedi kulcsát tartalmazza.
20. *MEKH kivétel*: A *MEKH kivétel* mező opcionális (lehet üres); három lehetséges értéke van: *MEKH kivételre felterjesztve*, *MEKH kivételként elfogadott* és *MEKH kivételként nem elfogadott* ³⁰. A mező alapértelmezésben üres, módosítása csak speciális szerepkörrel, a MEKH-statisztika-felelős számára lehetséges. [82]

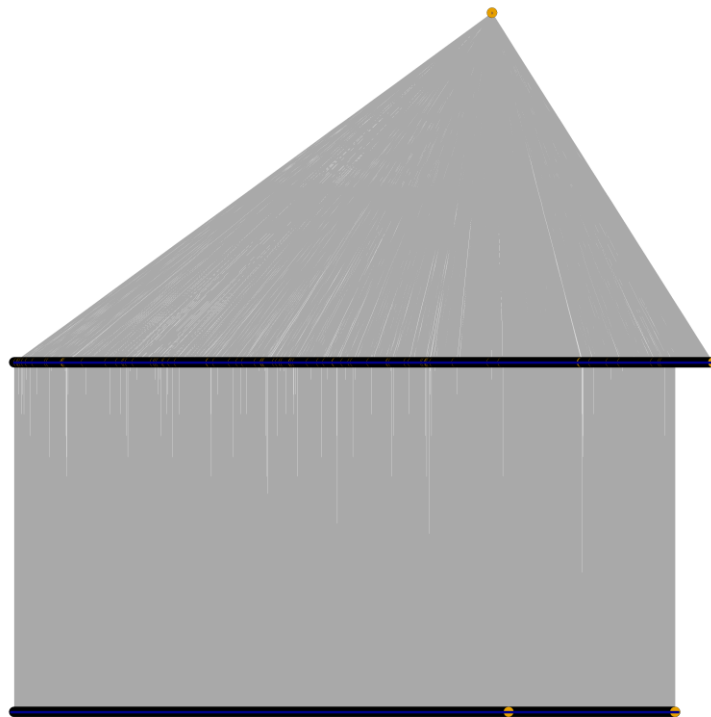
²⁹ A modulban háromféle ellátási típus választható ki ún. rádiógombbal: *aggregátoros, átterheléses, egyéb*. Mindhárom típus esetén kitöltendő mezők: *Ideiglenes ellátás kezdet idő, Vég idő, Fogyasztószám*.

³⁰24/2007 Magyar Energia Hivatal határozata, A melléklet alapján [18]

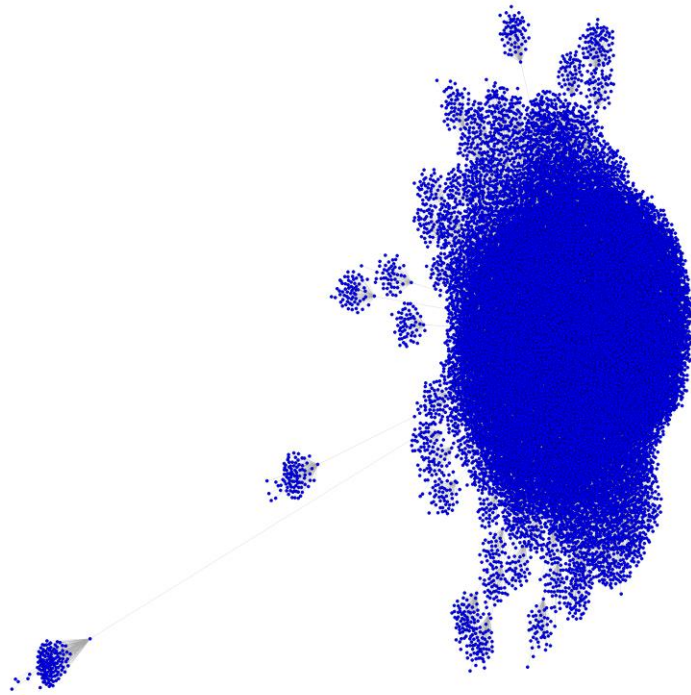
3. melléklet: A TDNm grafikus megjelenítései. Az ábrák R szoftverben készültek.



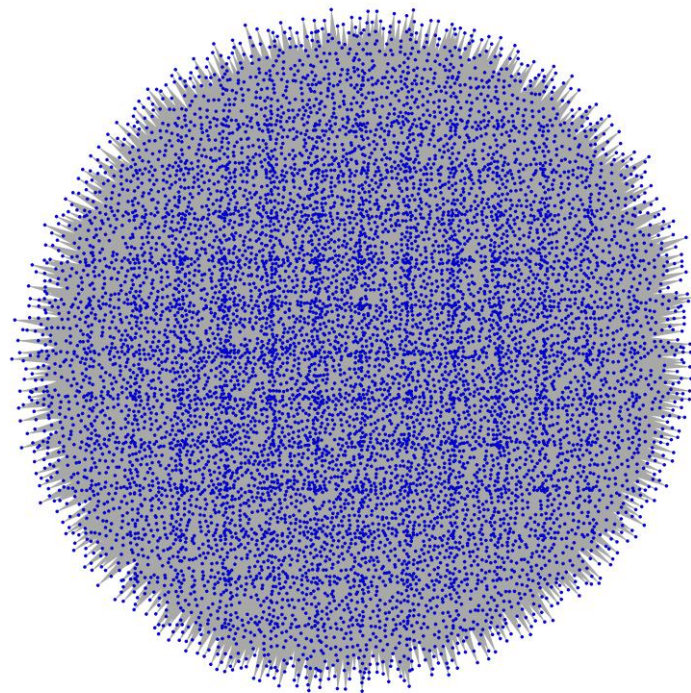
63. ábra TDNm NAF-hálózati kapcsolatai (saját ábra)



64. ábra A TDNm NAF-, KÖF- és KIF-kapcsolatainak grafikus megjelenítése (saját ábra)



65. ábra A TDNm kapcsolatainak grafikus megjelenítése (saját ábra)



66. ábra A TDNm kapcsolatainak háromdimenziós ábrázolása (saját ábra)

Nyilatkozat a munka önállóságáról, irodalmi források megfelelő módon történt idézéséről

Alulírott Holcsik Péter kijelentem, hogy a

A kiefeszültségű villamos elosztóhálózat ellátásbiztonságának korszerű megoldásai
címmel benyújtott doktori értekezést magam készítettem, és abban csak az irodalmi hivatkozások listáján megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2019. október 10.

.....
(aláírás)

Nyilatkozat a nyilvánosságra hozatalról

Alulírott Holcsik Péter hozzájárulok a

A kiefeszültségű villamos elosztóhálózat ellátásbiztonságának korszerű megoldásai
című doktori értekezésem interneten történő nyilvánosságra hozatalához az alábbi formában*:

- korlátozás nélkül;
- elérhetőség csak magyarországi címről;
- elérhetőség a fokozat odaítélését követően 2 év múlva, korlátozás nélkül;
- elérhetőség a fokozat odaítélését követően 2 év múlva, csak magyarországi címről.

Budapest, 2019. október 10.

.....

(aláírás)