



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
VILLAMOS ENERGETIKA TANSZÉK

Elosztóhálózati berendezések öregedésének szimulációja

Készítette: Fazekas Tibor, negyedéves villamosmérnök BSc hallgató

Neptun: HT7K5P

Konzulens: Németh Bálint, adjunktus

Cselkó Richárd, tanársegéd

Szabó Sándor, Ph.D. hallgató

Dátum: 2011.10.25.

Összefoglaló

A villamosenergia-rendszer az utóbbi évtizedekben rengeteg változáson ment keresztül. A megváltozott szabályozási feltételek miatt az áramszolgáltatók átalakítják működési és üzleti politikájukat. Olyan lehetőségeket keresnek, amelyek kihasználásával csökkenthetik költségeiket az előírások betartása mellett. Ennek az átalakulásnak egyik eredménye az „asset management”, magyarul eszközgazdálkodás önálló diszciplínaként való megjelenése.

A villamosenergia-rendszer üzemeltetési költségeit és megbízhatóságát a benne lévő berendezések tulajdonságai (típus, kor, állapot) határozzák meg. Az eszközök állapota az öregedés következtében kisebb-nagyobb mértékben romlik. Mivel a legtöbb ország villamosenergia-rendszerében a berendezések nagy része hamarosan eléri a telepítéskor tervezett élettartamának végét, ezért fontos, hogy ezeket a megfelelő időben kicseréljék, elkerülve ugyanakkor, hogy még hasznos élettartammal bíró berendezéseket is idejekorán kivegyenek a rendszerből. Ennek az optimális időpontnak a megtalálására különböző élettartam menedzsment módszereket használnak.

Munkám során áramszolgáltatói adatokat és állapotszámolási módszert felhasználva valósítottam meg a közép feszültségű elosztóhálózat öregedését szimuláló programot MATLAB környezetben. Dolgozatomban a közép feszültségű elosztóhálózat öregedését vizsgáltam, valószínűségi módszerekkel adtam becslést az állapotuk romlásáról, az időközönkénti javítások számáról, valamint összehasonlítottam a kapott állapotszámítást, más, szélsőséges esetekkel.

A vizsgálat célja, hogy a későbbiekben egy olyan számítógéppel támogatott rendszert hozzak létre, amellyel lehetőség lesz a hálózat egészének várható üzemeltetési költségeinek kiszámolására, valamint a különböző, jelenleg is alkalmazott stratégiák összehasonlítása.

Abstract

The power distribution system had undergone many changes in the recent decades. Because of the changed regulatory conditions, the suppliers are modifying their operation and business politics. They are looking for different options to reduce their expenditure and to comply with the regulatory expectations. One of the results of this transformation is the emergence of asset management as a separate discipline.

The operation costs and reliability of the power system are given by the properties (type, age, condition etc.) of the equipment used. Due to aging, the condition of the equipment is deteriorating. In the electricity system of most of the countries major part of the devices are reaching their life expectancy. Therefore it is important to replace them at the right time, meanwhile we have to be careful not to replace the devices too early. In order to find the optimal time of replacement different life cycle management methods are used.

During my project I used supplier's data and condition evaluation method to simulate the ageing of the medium voltage power grid in MATLAB. In this work I analyse the aging of the medium voltage power grid. I give an estimation of the condition deterioration of the assets and the number of the periodic repairs with probabilistic methods. I compare the condition calculation method with other extreme cases.

The aim of the research is to establish a complex computer-aided system which is able to calculate the operation costs of the whole grid. An attempt is made to compare the proposed method with various currently used methods.

Tartalomjegyzék

Összefoglaló.....	2
Abstract.....	3
Tartalomjegyzék	4
1. Az asset management kialakulása	6
1.1 Az asset management céljai	6
1. A villamosenergia-rendszer komponenseinek öregedése.....	7
2.1. Az öregedés oka	9
2.1.1. Romlás és elavulás	10
2.2. Az öregedés folyamata és az azt befolyásoló tényezők	10
2.2.1. A várható élettartam.....	11
2.2.2. Az öregedés foka	13
3. A karbantartás	17
3.1. Karbantartási stratégiák és azok várható hatása az üzemeltetés hatékonyságára	17
4. A cseréket és karbantartásokat megalapozó hibastatisztikák	20
4.1. Használatos valószínűségi modellek.....	21
4.1.1. Exponenciális eloszlás:.....	22
4.1.2. Weibull-eloszlás:	24
4.1.3.Exponenciális Weibull-eloszlás.....	27
5. „End of life” állapot.....	29
5.1. A jövőre vonatkozó költségek becslése a hibastatisztikákból.....	29
6. Középfeszültségű oszlopok öregedésének szimulációja.....	31
6.1. A szimuláció elméleti alapjai	31
6.1.1. A szimuláció alapjainak bemutatása egy egyszerű modellen.....	31
6.1.2. A bemeneti adatok kezelése	36
6.2. A villamosenergia-rendszerek folyamatos bővítésének hatása.....	38
6.2.1. Oszlopok telepítése több ütemben.....	38
6.2.2. Oszlopok telepítése folyamatosan	39
7. Állapotsúlyozás, állapotindex képzés megvalósítása	41
7.1. Az állapotindex képzése.....	41
7.1.1. Oszlopok állapotának romlása javítás nélküli esetben	42
7.1.2. Oszlopok állapotának romlása javításos esetben.....	43

8. Szimulációs eredmények	46
8.1. Valódi állapot bevezetése, összehasonlítása a kapottal.....	46
8.2. Kvantilis bevezetése	48
8.2.1. Kvantilis értékek változtatása.....	49
9. Összefoglalás, további lehetőségek	52
11. Irodalomjegyzék	54

1. Az asset management kialakulása

A villamosenergia szolgáltató ipar az utóbbi évtizedben jelentős üzleti és szabályozási változásokon ment keresztül, amelyek arra készítették, hogy teljesen átalakítsa az eddigi működési, üzleti politikáját. Ennek következtében a piac résztvevői olyan stratégiákat dolgoznak ki, amelyekkel növelhetik a teljesítményüket, profitjukat egy olyan környezetben, ahol a verseny és a szabályozás miatt a bevételeik csökkennek, a fogyasztói és szabályozói elvárások pedig nőnek. Miután a közönséges teljesítménynövelés nem volt kielégítő, a cégek új megoldásokat kerestek, aminek a végén egy új fogalom jött létre, az „asset management”, azaz eszközgazdálkodás. Az egymásnak ellentmondó követelmények nagy nyomást helyeztek az asset management végrehajtóira, hogy egyensúlyban tudják tartani a teljesítményt és a kockázatokat a korlátozott költségvetéssel.

1.1 Az asset management céljai

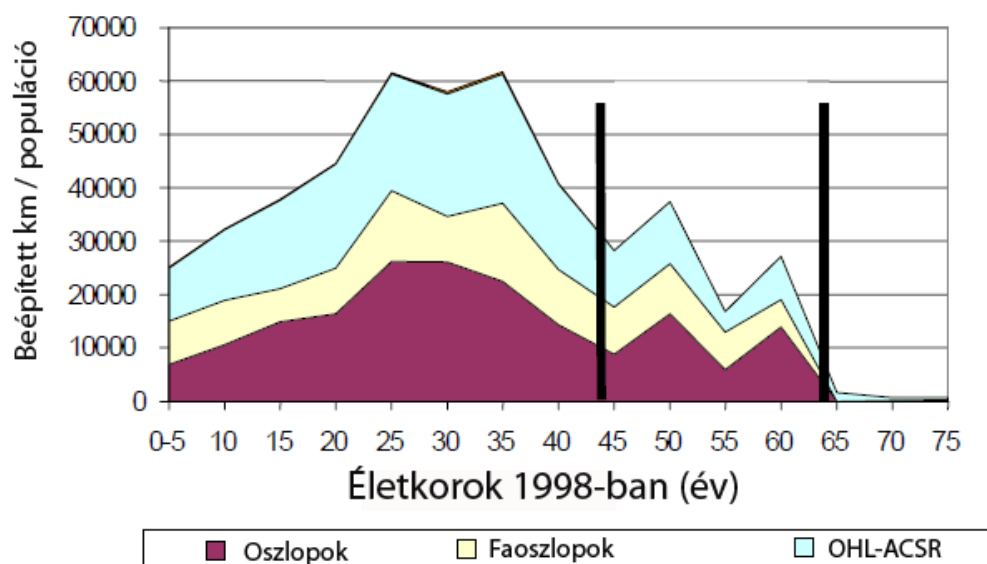
A villamosenergia rendszer működtetéséhez nagyszámú, különböző berendezést használunk, amelyek igen jelentős értéket képviselhetnek. Ezeket az eszközöket igyekeznek úgy megtervezni, hogy lehetőleg időtállóak legyenek, minél kevesebbszer kelljen őket kikapcsolni, hiszen ezeket a készülékeket nem lehet egyszerűen kidobni, és a lecserélésük, kikapcsolásuk is következményekkel jár. A nagyfeszültségű vezetékek, kábelek, transzformátorok mind-mind olyan berendezések, amelyek folyamatosan üzemelnek egy energiarendszerben. Meghibásodásuk kényelmetlenséget okoz a fogyasztónak, a szolgáltatók pedig nem tudják értékesíteni a villamosenergiát, továbbá a kiesések miatt akár komoly büntetésekre is számíthatnak.

Ha a berendezéseket megfelelően kezeljük, ismerjük azokat és kellő figyelmet fordítunk a karbantartásuk hatékony végrehajtására, akkor nagyon sok kellemetlen, váratlan kiadástól kímélhetjük meg a tulajdonosokat. Az asset management egy olyan komplex rendszer, amellyel megfelelően tudják modellezni a villamosenergia-rendszer berendezéseinek állapotát, becslést adhatnak a jövőbeni karbantartási igényre, és ennek segítségével optimalizálni tudják az üzemeltetési költséget,

valamint meg tudják állapítani a tartósan fenntartható működéshez szükséges üzemeltetési ráfordítások (OPEX, operation expenses) és beruházások (CAPEX, capital expenses) mértékét és optimális arányát. Az eszközmenedzsment célja, hogy minimális költség és a különböző elvárások teljesítése mellett, fenntarthatóan üzemeltesse a berendezések összességét. Ha a berendezéseiket megfelelően kezelik, akkor a költségeik az évek során kiegyenlítődnek, és ez által pénzt tudnak spórolni, maximalizálni tudják a profitot.

1. A villamosenergia-rendszer komponenseinek öregedése

Statisztikák szerint a legtöbb országban megfigyelhetők olyan időszakok, amelyekben bizonyos eszközök telepítése kimagasló volt. Ez a terhelés gyors növekedésének volt köszönhető. Napjainkban a terhelés lassú növekedésénél a berendezéseket is lassabban, kisebb számban cserélik, telepítik. A nyugati országokban a legtöbb eszközt a hatvanas-hetvenes években telepítették, ennek megfelelően a most használatban lévők nagy százaléka hamarosan eléri eredetileg tervezett hasznos élettartamának végét.



1. ábra Távfűtési oszlopok korának eloszlása [2]

A problémát nemcsak az állapotuk romlása, hanem technikai elavulásuk is jelenti. Ezek a berendezésekre vonatkozó problémák az egész rendszer számára hatalmas

gondot jelentenek. Csökkenő megbízhatóság, rendelkezésre állás, és inkompatibilitás a változó technikai, környezeti és biztonsági szabályokkal. Egyértelmű tehát az öregedés negatív hatása a rendszer teljesítményére. Ha egy öregedő eszközt nem cserélünk ki, akkor megvan a kockázata a rendszer teljesítményének hosszú távú romlására.

A megoldás egy komplex kérdéskör, amelyet a rendszertervező és az asset manager állít fel. Rendszer fejlesztés esetén a tervezőnek figyelembe kell vennie a teljes flotta öregedő eszközeit. A jövőbeli rendszerkövetelmények, az eszközök életének fontos állomásai (karbantartás, felújítás, csere) köré centralizálódnak. Ennek érdekében az optimális stratégia kiválasztásához szoros együttműködésre van szükség az asset managerek és a rendszertervezők között. A fejlesztéseknél a tervezőnek tisztában kell lennie azzal, hogy azonos fejlesztéshez a régebbi berendezéseknél teljesen más kérdéseket kell vizsgálnia, mint adott esetben az újaknál. Néhány kérdést meg lehet oldani a meglévő rendszeren való módosításokkal, néhányhoz pedig kénytelen új berendezést vásárolni.

Az öregedés leküzdésére 5 általános stratégia mondható ki:

- megújítás felújítással: az eszköz néhány alkatrészét kicseréljük,
- megújítás kicseréléssel: a teljes berendezést kicseréljük (like for like replacement),
- korszerűsítés vagy megújítás: az öregedő berendezés alkatrészeit kicseréljük, vagy felújítjuk egy szabványnak megfelelően, ami egy továbbfejlesztett eszközt eredményez,
- hálózat újratervezése,
- élettartam-hosszabbítás, vagy halasztás: fokozott karbantartás és/vagy monitoring, amíg más stratégiákat meg nem valósítunk.

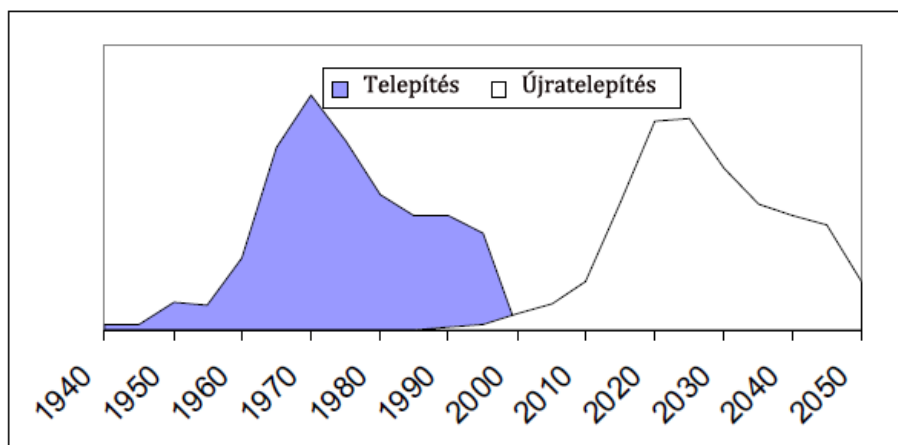
Az eszközök nagy számának öregedése magával vonzza az ezzel kapcsolatos kutatási, finanszírozási kérdéseket. Sok vállalat kezdett el nagymértékben használni feszültség alatti munkavégzést vagy ideiglenesen áthelyezhető eszközöket (például: mobil védelmi berendezések), hogy minimalizálják a feszültségkimaradásokat, ezek azonban csak a kiesési mutatók javulását segítik elő, önmagukban nem javítják a komponensek állapotát.

Ezekon kívül az előregedés miatti cserék lehetőséget adnak arra, hogy a teljes rendszert újratervezzük. A nyomvonalak használatát optimalizálhatjuk, a feszültségszinteket racionalizálhatjuk, illeszthetjük a rendszert a jelen és a jövő követelményeihez.

2.1. Az öregedés oka

Amikor egy eszköz vagy eszközök egy csoportja eléri hasznos élettartamának végét, akkor a lehető legkörültekintőbben kell eljárni annak érdekében, hogy a megfelelő stratégiával kezeljük a kialakult helyzetet. A döntéseinknél rengeteg műszaki, gazdasági szempontot kell figyelembe vennünk. A megoldás összpontosíthat magára az eszközre, a rendszerre vagy a kettőre együtt. Lehetőség van a teljes rendszer újratervezésére (például: egy nyomvonal jobb kihasználása, a feszültségszint emelése).

A kicserélésnél a legfontosabb paraméter annak időzítése, ha túl korán cserélünk, akkor pénzt és eszköz élettartamot pazarolunk, ha túl későn, akkor alacsony megbízhatósággal és magas költségekkel találjuk magunkat szemben.



2. ábra Telepítés és kicserélés eloszlás (alállomási berendezések)[2]

A diagramon megfigyelhető, hogy a telepítés csúcspontja a hetvenes években volt, az akkor beszerelt eszközök lassan eléri a hasznos élettartamuk végét. A következő

években kezdődik az eszközök kicserélésének, felújításának hulláma. Napjainkban a legtöbb szolgáltató még csak az eszközeinek öt-tíz százalékát cserélte ki.

2.1.1. Romlás és elavulás

Az eszközök nemcsak a fizikai paramétereik romlása révén öregednek, hanem a technikai paramétereik is elavulnak.

A romlás egy olyan folyamat, amelynek során az eszköz anyagai elhasználódnak, majd elérnek egy olyan szintet, amelyen túl már nem tudják a specifikációjuknak megfelelő feladatokat ellátni. A romlás foka függ az időtől, a használatától és a karbantartástól. Korrózióról például akkor beszélünk, ha az idő előrehaladtával és a karbantartás mellőzésével a kültéri eszközök rozsdásodni kezdenek, amelyet a terheléssel járó hő csak fokozni fog. A legtöbb kellemetlen folyamat megelőzhető karbantartással, példánk esetében újrafestéssel.

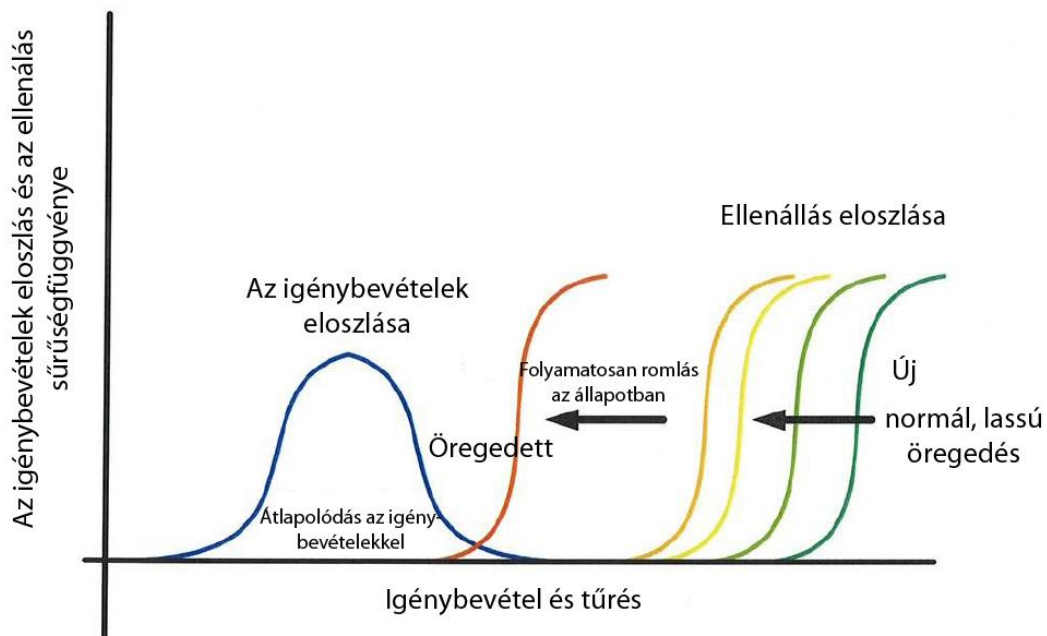
Az üzemeltetés folyamán az eszközök rendszeres karbantartáson esnek át, ha szükséges. Ennek keretében előfordulhat bizonyos alkatrészek cseréje. Azonban a régi berendezések pótalkatrészeinek elérhetősége idővel minimálisra csökken, az árak pedig éppen ezért nő. Az alkatrészek pótlásához részletes tudás szükséges a berendezésről, amely olykor a vállalaton kívülről érkezik. Az alkatrész lehet, hogy nem tudja majd betölteni elődjének funkcióit, ezért a teljesítményben csökkenés mutatkozhat.

2.2. Az öregedés folyamata és az azt befolyásoló tényezők

A nagyfeszültségű berendezések különböző üzemeltetési és környezeti terheléseknek vannak kitéve. Normál öregedés a mechanikai, termikus, kémiai és villamos igénybevételek miatt fordul elő. Hirtelen öregedés tranziens és különböző rövid távú jelenségek miatt következik be, mint például rövid idejű túlterhelés, extrém szélterhelés, villámlás, kapcsolási túlfeszültség. Az öregedés jelei a lehető legkülönbözőbb formákban észlelhetők a berendezés típusától és a rendelkezésre álló diagnosztikai módszerektől függően.

2.2.1. A várható élettartam

A készülékeket az állandó és az időnként – hiba miatt - előforduló túlterhelésekre is tervezik, és szabványokban rögzített értékek mellett hosszú ideig kell folyamatosan működniük. Alacsonyabb terhelés esetén, rendszeres, minőségi karbantartással hasznos élettartamuk többszörösére növekedhet. Az öregedési folyamat azt jelenti, hogy egy berendezés mennyire képes ellenállni az őt érő különböző terheléseknek, azaz milyen határok között tudja feladatát ellátni. Az állapot fokozatos romlása növeli egy esetleges meghibásodás valószínűségét. Az alábbi ábra fejezi ki a csökkenő ellenálló képességet:



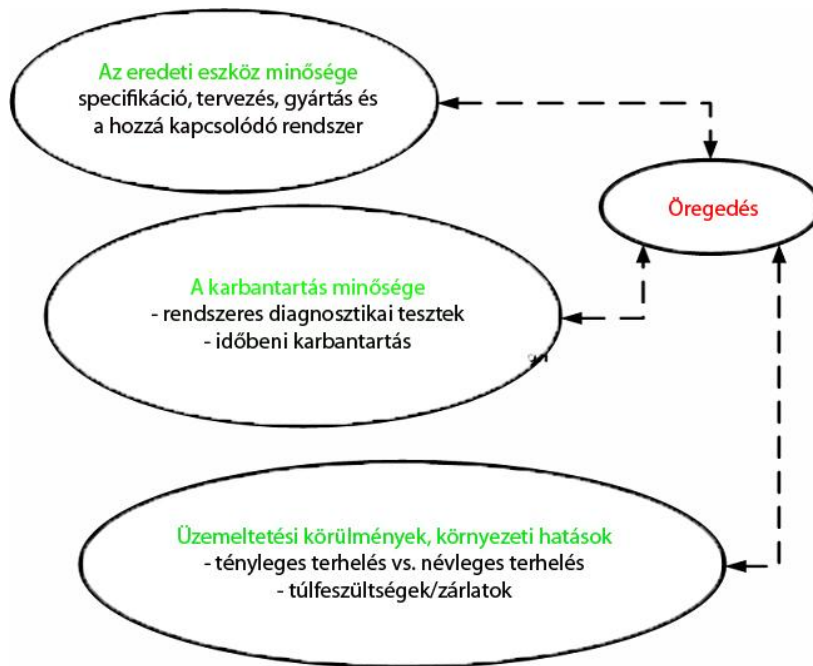
3. ábra Az „end of life” állapot közeledése¹ [3]

Az öregedési folyamat miatt az ellenálló képességet kifejező görbék kezdenek balra tolni, majd átlapolódnak az igénybevétel eloszlásának görbéjével. A növekvő átlapolódás növeli annak a valószínűségét, hogy az igénybevétel meghaladja a szilárdságot, amely hibát okoz. Ennek eredményeképp a végső meghibásodás egy

¹ Az ábra az igénybevételeket egy sűrűségfüggvénnyel, az ellenálló képességeket pedig egy eloszlásfüggvénnyel jeleníti meg. Alkalmas annak szemléltetésére, hogy ha a kettő összeér, akkor lehetséges a berendezés meghibásodása, ám matematikai következtetést, az elromlás valószínűségére levonni nem lehet, sem a metszeti területből, sem a metszéspontból.

statisztikailag meghatározott esemény. Ezért a várható élettartamot csak valószínűségi, vagy kockázati alapon tudjuk megbecsülni.

Az eszköz romlását három fontos tényező befolyásolja, a következő ábra ezeket jeleníti meg.



4. ábra Hatások, amelyek befolyásolják az öregedést

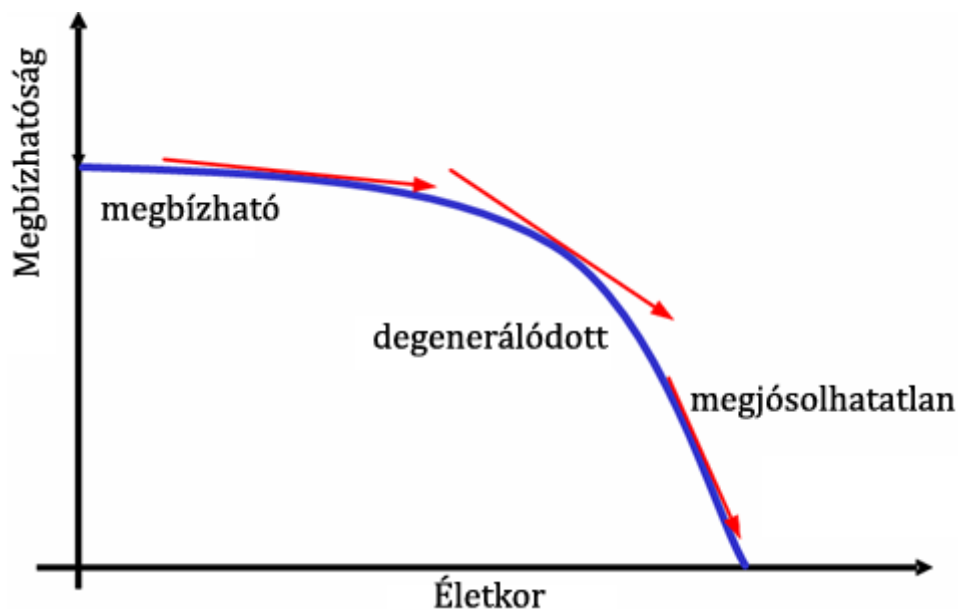
A tervezés minősége, a specifikáció, az anyagbeszerzés, a gyártás, és az üzemeltetés nagyban befolyásolják, hogy az eszköz meddig viseli el a különböző terheléseket. A magasabb minőség elfogadtatása a beszerzésnél egyre nehezebb egy olyan üzleti környezetben, ahol az ár a fő döntési szempont. A vezetők célja, hogy a profitot maximalizálják, és ennek érdekében preferálják a minél olcsóbb berendezések vásárlását. Azonban sok esetben elfeledkeznek arról, hogy nagy különbség van a vételi ár és a teljes költség között, amely nagy része csak később jelentkezik. Lehet, hogy egy-egy vásárlásnál akár tíz-tizenöt százalékot is spórolhatunk, de az évtizedek alatt felépített szoros kapcsolat azokkal a beszállítókkal, akik akár többet is tudhatnak a hálózatunkról, mint mi magunk, felbecsülhetetlen érték. Ez a kapcsolat leginkább a karbantartásoknál, cseréknél jelentkezik.

A karbantartási programok minősége is fontos az eszközök öregedése szempontjából. A rendszeres ellenőrzés és diagnosztika időben figyelmeztet a hibák kijavítására, ami hosszú távon hasznot hoz, mivel növeli a berendezés hasznos élettartamát. Kiemelkedően fontos a diagnosztikai eredmények megfelelő dokumentálása, hiszen ebből következtetni lehet a hibához vezető folyamatra, és következtetéseket lehet levonni a többi eszközre vonatkozóan.

Az eszköz üzemeltetése és az őt ért igénybevételek kritikusán befolyásolják az élettartamát. Bizonyítottan kapcsolat van a szüntelen használat és az öregedés között. Transzformátoroknál például direkt kapcsolat van a terhelés és a melegpontok (hot spot) kialakulása között.

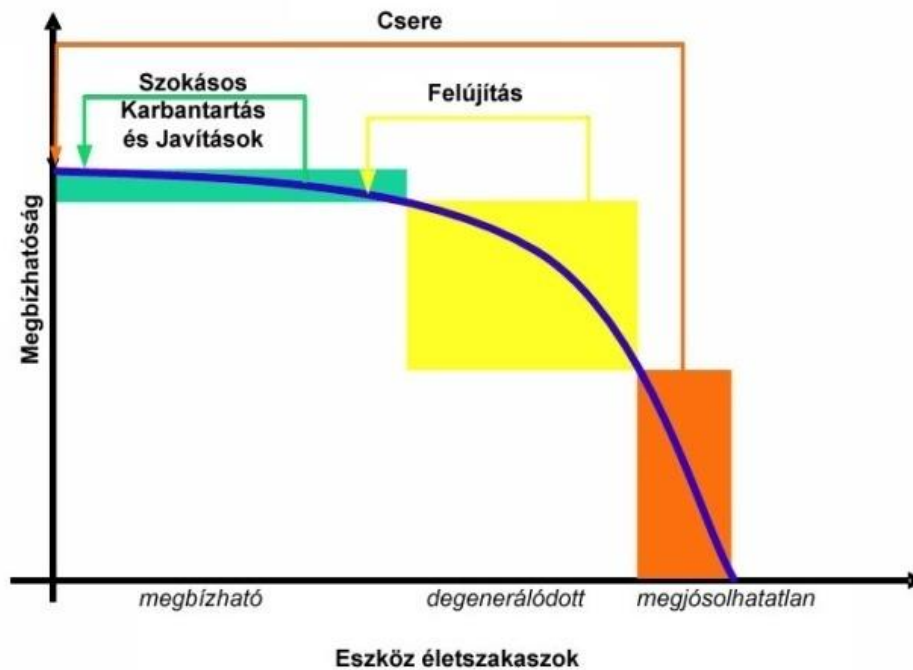
2.2.2. Az öregedés foka

Az eszközök az idő múlásának és a különböző igénybevételeknek köszönhetően öregednek. Például a termikus igénybevétel a transzformátoroknál fokozatosan gyengíti a tekercselések mechanikai szilárdságát, amely további problémákhoz vezethet. Ezt az angolul „csúszós lejtő”-nek (slippery slope) nevezett jelenséget illusztrálja a következő ábra.



5. ábra Az öregedés fokozódik, ha nem avatkozunk be [3]

Ideális esetben az asset managerek egy részletes, számszerű értelmezést szeretnének adni ezeknek a görbéknek, annak érdekében, hogy támogassák a különböző döntéseket, amelyek eredményeképpen a vállalat investál a karbantartásba, felújításba és lecserélésbe. Ezeket a modelleket fontos matematikailag pontosan leírni, különböző állapotokat és tevékenységeket definiálni, amelyek lehetséges asset management stratégiákat takarnak (lásd következő ábra).



6. ábra Az öregedés állapotai, és lehetséges tevékenységek

A rutin karbantartás magában foglal minden olyan tevékenységet, amelyekkel előre számoltak a költségvetésben, ilyenek az eszköz felügyelete és működtetése.

A felújítás egy konkrét eszközre vonatkozik, amely költséges, és kiesést okozhat. Ilyen felújítások például újratekercselés, gáztalanítás transzformátoroknál, nagyjavítások megszakítóknál stb.

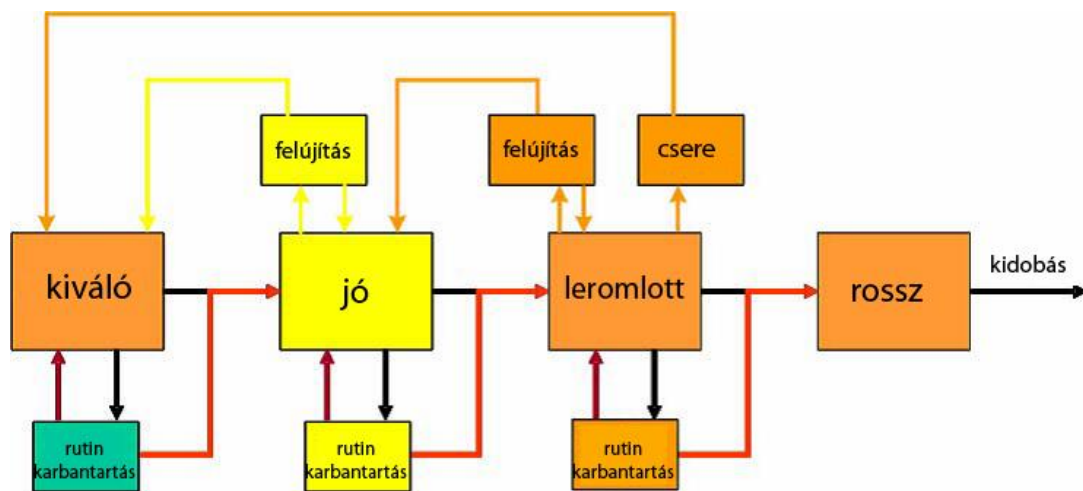
Fontos, hogy ezt az egyszerű modellt továbbfejlesszük, hogy jobban mutassa az öregedést, és a megóvására irányuló tevékenységeket. Azért túlegyszerűsített a modell, mert csak három állapotot különböztet meg (megbízható, degenerálódott,

megjósolhatatlan), és feltételezi, hogy a karbantartás, felújítás, csere hiba nélkül lezajlik.

A döntéshozatalhoz egy részletesebb modellre van szükség, amellyel megállapíthatjuk egy teljes flotta öregedésének pénzügyi következményeit. Az értékelésben az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

- az eszköz teljes életciklusának költség szempontú értékelése,
- a különböző érdekű felek követelményei,
- egész flottára vonatkozó szabályok megalkotása, nincs döntés egy önálló berendezésre,
- visszacsatolás a teljes folyamatra vonatkozóan.

A folyamat matematikai megközelítése látható a következő ábrán.



7. ábra Állapot alapú öregedés modell [3]

Ebben a Markov-modellben több állapotot és a köztük lévő átmentet is jobban definiálták, amelyek használatosak az eszközök hátralevő élettartam becslésénél. Az átmeneti értékek meghatározhatók lehetnek adatbányászat segítségével, ezért nagyon fontos a karbantartási, diagnosztikai adatok, részletes, pontos, számítógépes adatfeldolgozásra alkalmas formátumba való gyűjtése és tárolása. Amennyiben ez nem elérhető, akkor tapasztalt mérnök kellenek ezek meghatározására, egzakt információ hiányában azonban romlik a modell pontossága.

Az ilyen modellekkel tudjuk analizálni, számszerűsíteni, hogy jobban járunk-e ha elfogadjuk a hátralevő élettartam meghosszabbítását folyamatos karbantartással, vagy minimalizáljuk a korai karbantartási költségeket, és késleltetett felújításokkal kerülünk a leromlott állapotból a jó állapotba. Ezen modellek hasznosak az életpályák analizálásában, de egy asset managernek sokkal több szempontot figyelembe véve kell kialakítania az eszközkézelési irányelveit.

3. A karbantartás

Az eszköz üzembe helyezése után felmerül az igény az eszköz karbantartására. Napjainkban egyre inkább előtérbe kerül az eszközök használatának, karbantartásának egyszerűsítése, gyorsítása. Ezzel együtt a társadalomban is megfigyelhető egy változás, miszerint az emberek jobban kedvelik a megbízható, többször használatos termékeket, az egyszer használatos, eldobhatóknál. Ehhez jelentős mértékben hozzájárul a környezettudatosság elterjedése is.

A karbantartási stratégiák célja a megfelelő szintű megbízhatóság elérése, valamint a karbantartási költségek optimalizálása az eszközök minél ritkább és rövidebb idejű kikapcsolása mellett.

3.1. Karbantartási stratégiák és azok várható hatása az üzemeltetés hatékonyságára

Több különböző karbantartási stratégia alakult ki, a következő ábra ezeket jeleníti meg.



8. ábra Karbantartási stratégiák

A karbantartási stratégiák egyik legfontosabb kérdése, hogy az eszköz állapotát, illetve az eszköz jelentőségét figyelembe vesszük-e. Az eszköz állapotát és jelentőségét rengeteg módon definiálhatjuk, ez az elérhető adatok pontosságától és megbízhatóságától függ.

A legegyszerűbb karbantartási stratégia a javító karbantartás. Ameddig a berendezés működik, addig nincs javítás, nincs karbantartás. Meghibásodás után vizsgálat következik, ahol eldöntik, hogy meg lehet-e javítani, vagy ki kell cserélni. Maga a stratégia olcsó, de elosztó hálózatokon egy eszköz kiesése sokkal több költséget generál. Olyan eszközöknél alkalmazható, amelyek kiesése nem jár jelentős következményekkel, vagy jellegéből adóan nincs másra lehetőség. Elosztó hálózatokban például: középfeszültségű THPE kábeleknél használják, és olyan komponenseknél, amelyek száma olyan nagy, hogy a megelőző karbantartások költsége elfogadhatatlan lenne.

A manapság hagyományosnak mondható, széles körben alkalmazott megközelítés és stratégia, az idő alapú karbantartás. Fix időintervallumonként végeznek karbantartást, ellenőrzést. Ezeket az időintervallumokat a gyártó javaslatai vagy a hálózat üzemeltetőjének tapasztalatai alapján határozzák meg. A tapasztalat azt mutatja, hogy ezeket az időintervallumokat túlságosan kicsire választották, túl nagy volt a biztonság. Ez a módszer jó eredményt ad azoknál a berendezéseknél, amelyeknél a hiba oka dörzsölődés, kopás, korrodálódás, vagy az anyag egyéb elváltozásai az öregedés, fáradás hatására. Széles körben használják nagy- és középfeszültségen, a költsége elfogadható.

Ahhoz, hogy egy eszköz állapotából következtetéseket vonhassunk le, rengeteg információra van szükségünk. Az eszközök aktuális állapotát indexekkel jellemezhetjük (állapot tényezőkkel, például TÁT (transzformátor állapot tényező [16])), és a karbantartást akkor hajtjuk végre, amikor ezek az értékek különböző határértékeket érnek. Sajnos az eszközök aktuális állapotának meghatározása nem triviális, az indexek korábbi és aktuális diagnosztikai eredményekből kerülnek meghatározásra. Az állapot alapú karbantartás magas elérhetőséget, és közepes karbantartási költségeket kínál, használják extranagyfeszültségen és

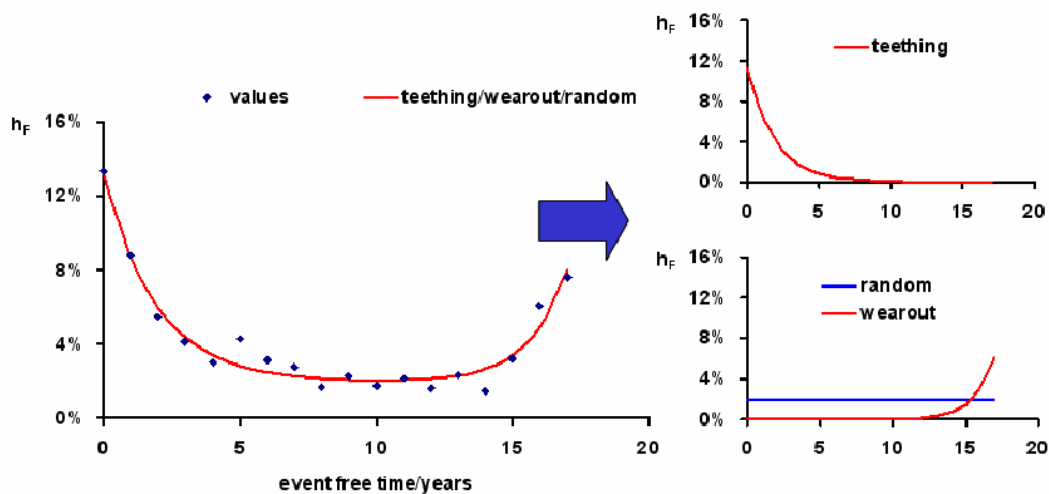
nagyfeszültségen, de mostanában néhány eszköznél alacsonyabb feszültség szinteken is.

A gyakorlatban a legtöbb pénzügyi és logisztikai forrás limitált, és elvárják a prioritás további definícióját. A piacon bármely tevékenység hatékonyságát nagy figyelem kíséri. Ez a megközelítés kapcsolódik a hálózati elemek jelentőségéhez, amelyet rengeteg módon definiálhatunk. Az elosztó rendszerekben az ellátás megbízhatóság a technikai karakterisztika kulcsa, és ezt számszerűsíthetjük, egy sor jól meghatározott indexel.

Az RCM (reliability centered maintenance) nemcsak az eszköz állapotát, hanem a jelentőségét is figyelembe veszi. Az RCM prioritásokat rendel a szükséges karbantartási műveletekhez és egy jó eszköz arra, hogy rangsoroljuk az eszközök felújítását és cseréjét. Ezek az analízisek alkalmazhatóak egy konkrét berendezésre, de egy egész állomásra is, ahol a különböző részek (például: primer-szekunder berendezések) állapotát együttesen veszi számításba. Ha ezek az analízisek különböző intézkedésekre vezetnek, vagy intézkedések hiányára, akkor az asset manager hozza meg a döntést.

4. A cseréket és karbantartásokat megalapozó hibastatisztikák

Az információ, a rendszerünk bármely berendezéséről, vagy annak hibájáról, az egyik legfontosabb fogalma egy öregedő rendszer kezelésének. Magában foglalja az eszközök korának eloszlását, meghibásodási gyakoriságot, korábbi javításokat, felújításokat, cseréket és ezek költségeit, teljesítmény statisztikát, és a kihasználtság arányát. Ezek segítségével becsülhetjük az elkövetkezendő hibák számát egy adott tervezési periódusban. Az elképzelés akkor érvényes, ha nagyszámú eszközre definiáljuk, ennek eredményeképpen kapjuk a következő, úgynevezett kádgörbét.



9. ábra Hibaráta függvény hidraulikus SF6 gázos megszakítók esetében [3]

A görbe illusztrálja meghatározott évben a hibák valószínűségét. Ugyanakkor nem veszi figyelembe a különböző terheléseket, és egyéb kedvezőtlen körülményeket. (például: egy transzformátor élettartamát jelentősen befolyásolja az üzemi hőmérséklet). A jobb oldalon három klasszikus része látható a görbének, a kezdeti meghibásodások, a véletlenszerű meghibásodás szakasza és az elhasználódás. Az első pár évben a kezdeti meghibásodások (más néven infant mortality) azt jelentik, hogy az újonnan telepített berendezésekben az üzemelés kezdeti szakaszában nagyobb a hiba valószínűsége, mint öt-hat év múlva. Ezt a részt gyakran nem ábrázolják, mivel napjainkban már olyan szigorúak az átvételi eljárások, hogy az átvétel során szinte minden gyártási és szerelési hiba kiderül. Ez a valószínűség a

tizenkettedik-tizenötödik évben kezd el újra növekedni az ábrával jellemzett megszakítónál. Az eredmény az eseményfüggő karbantartási filozófiát támogatja. A görbe és ez által a későbbi becslés pontossága az eddigi adatok elérhetőségétől, és a pontosságuktól függ.

4.1. Használatos valószínűségi modellek

A TDK dolgozatom keretében valószínűségi módszerekkel becslést adtam a középfeszültségű elosztóhálózati berendezések öregedésére, ezért fontosnak tartom, hogy bevezessem az eszközmenedzsmentben elterjedt valószínűségi modelleket.

A folytonos eloszlások sűrűségfüggvényét $f(x)$ -el, eloszlásfüggvényét $F(x)$ -l jelöljük.

Az eloszlásfüggvény x pontban felvett értéke megadja, hogy az X valószínűségi változó mekkora valószínűséggel vesz fel az x valós számnál kisebb értéket:

$$F(x) = P(X < x), x \in \mathbf{R} \quad (1)$$

Ha $F(x)$ eloszlásfüggvény folytonos, akkor az X valószínűségi változót folytonos valószínűségi változónak nevezzük. Ebben az esetben az is igaz, hogy van olyan $f(x)$ sűrűségfüggvény, amellyel

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx, \text{ teljesül.} \quad (2)$$

Minden olyan x pontban, ahol f folytonos, fennáll, hogy $f(x) = F'(x)$.

Egy folyamatot poisson folyamatnak nevezünk, ha a mögöttes eloszlás exponenciális. Ennek a mögöttes eloszlásnak paramétere λ , ennek reciprok értéke pedig az eloszlás MTBF-ével (Mean Time Between Failure = két hiba között eltelt átlagos időtartam) egyezik meg. A hibaráta egy intenzitás jellegű mennyiség, ami az elromlások gyakoriságával valamilyen arányban áll. A kádgörbe másik elnevezése a hibaráta függvény, amely megadja, hogy adott évben mekkora a hiba valószínűsége. A következőben ezt a függvényt vezetem le:

A hibaráta függ a hiba eloszlásfüggvényétől.

$P(X < x) = F(x)$, ahol $F(x)$ a sűrűségfüggvény integrálja.

A hibaráta függvény:

$$h(x) = \frac{f(x)}{1-F(x)} \quad (3)$$

Túlélési modellek:

A túlélési modellek megalkotását egy valószínűségi eloszlás megválasztásával kell elkezdni, amely a tapasztalatnak megfelelő kádgörbét adja. A használatos eloszlások:

- exponenciális eloszlás,
- Weibull-eloszlás,
- exponenciális Weibull-eloszlás.

4.1.1. Exponenciális eloszlás:

Az exponenciális eloszlást gyakran használják olyan modellezés esetén, amikor adott pillanatban a valószínűségi változó várható értéke nem függ az eltelt időtől. Az exponenciális eloszlású valószínűségi változó „örökifjú” tulajdonságú, vagy más kifejezéssel „memória nélküli”. Egy egyszerű példa az egyetemi menzán használt poharak eltörésének modellezése. Egy pohár eltörhet akkor is, ha már 20 éve használják, és akkor is, ha most vették ki a dobozból. Egy pozitív értékű folytonos valószínűségi változó akkor és csak akkor örökifjú tulajdonságú, ha exponenciális eloszlású.

Az exponenciális eloszlás sűrűségfüggvénye (pdf= Probability Density Function):

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \text{ ha } x \geq 0 \quad (4)$$

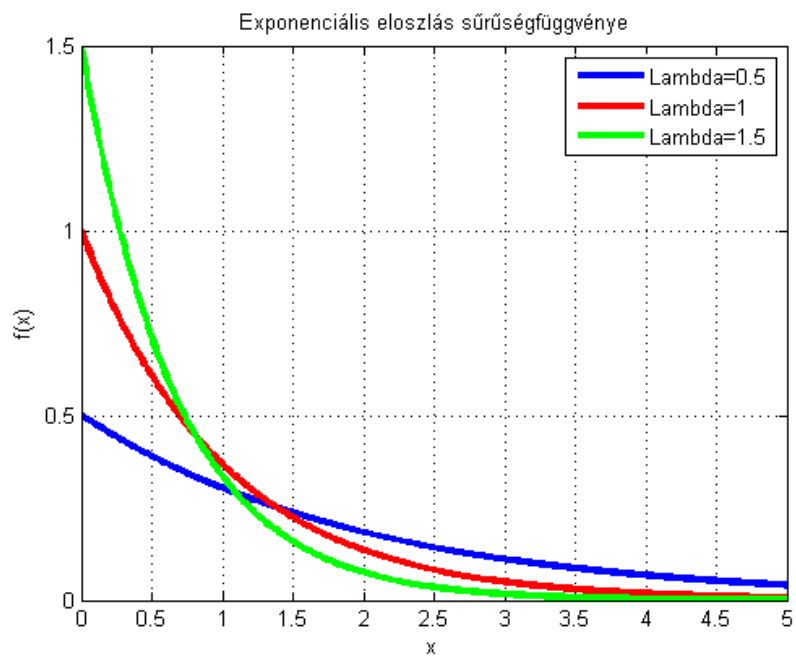
$$f(x) = 0, \text{ ha } x < 0 \quad (5)$$

Eloszlásfüggvénye (cdf: cumulative distribution function):

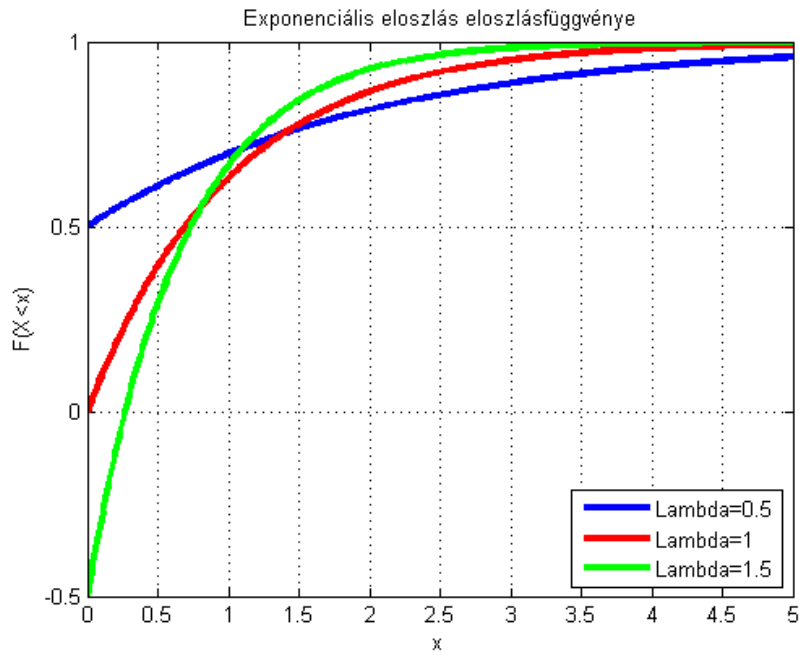
$$F(x)=1-e^{-\lambda x}, \text{ ha } x \geq 0 \quad (6)$$

$$F(x)=0, \text{ ha } x < 0 \quad (7)$$

Ábrázolásuk különböző λ értékekkel:



10. ábra Az exponenciális eloszlás sűrűségfüggvénye



11. ábra Az exponenciális eloszlás eloszlásfüggvénye

A hibaráta függvény:

$$h(x) = \frac{f(x)}{1-F(x)} = \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{e^{-\lambda x}} = \lambda \quad (8)$$

Tehát exponenciális eloszlás esetén a hiba valószínűsége minden évben konstans.

4.1.2. Weibull-eloszlás:

A sűrűségfüggvény általános formulája:

$$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left[\frac{x}{\lambda} \right]^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda} \right)^k}, \text{ ahol } x \geq 0 \quad (9)$$

$$f(x) = 0, \text{ ahol } x < 0. \quad (10)$$

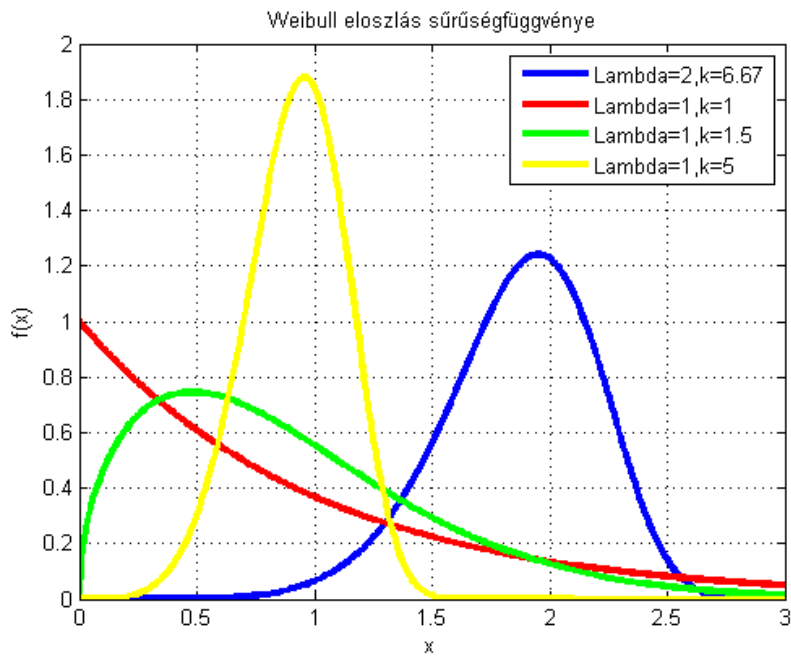
k az alaktényező, λ a skálátényező.

A hozzá tartozó eloszlásfüggvény:

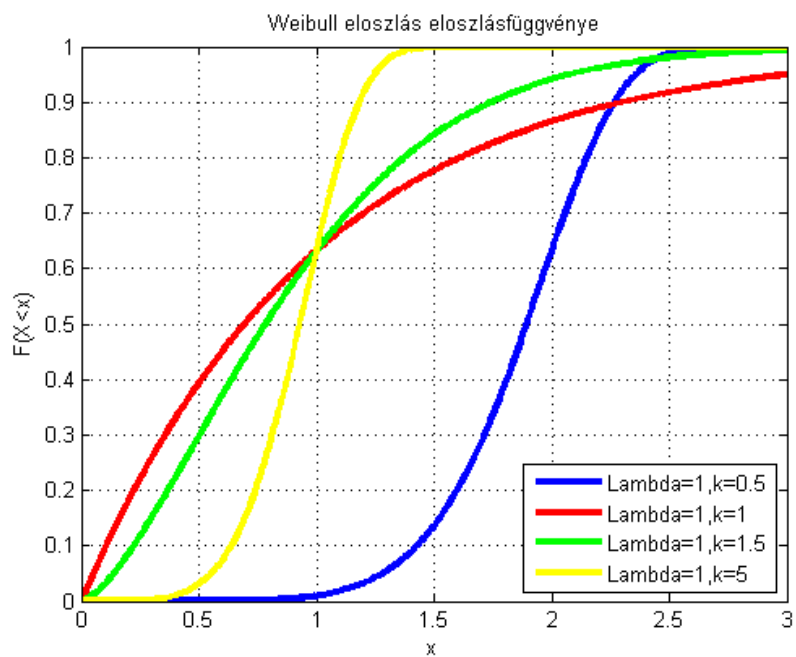
$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{y}\right)^k}, \text{ ahol } x \geq 0 \quad (11)$$

$$F(x)=0, \text{ ahol } x < 0. \quad (12)$$

A következő ábrák mutatják különböző paraméterértékekre a Weibull-eloszlás sűrűség és eloszlásfüggvényét.



12. ábra A Weibull -eloszlás sűrűségfüggvénye

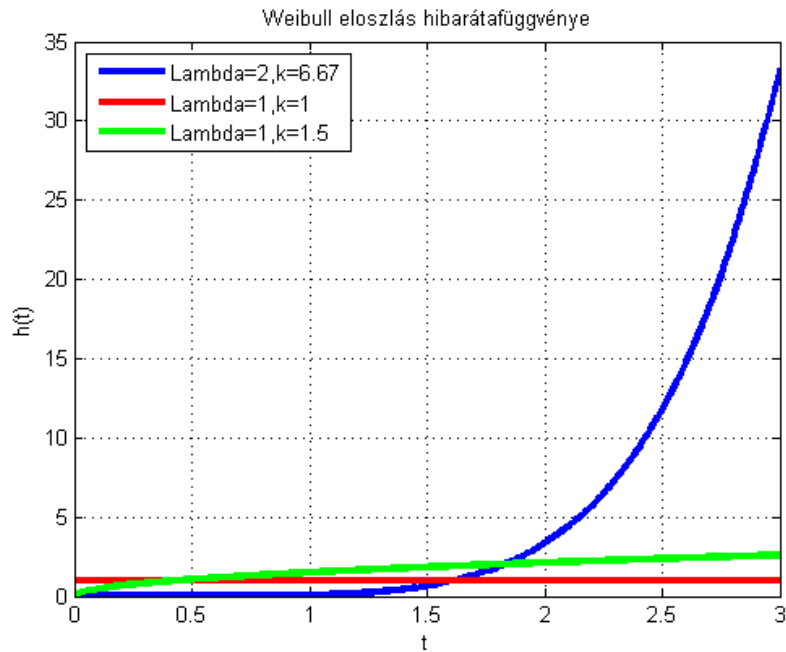


13. ábra A Weibull-eloszlás eloszlásfüggvénye

A hibaráta függvény:

$$h(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} \quad (13)$$

A következő ábra pedig különböző γ értékekre mutatja a hibafüggvények alakját.



14. ábra A Weibull-eloszlás hibaráta függvénye

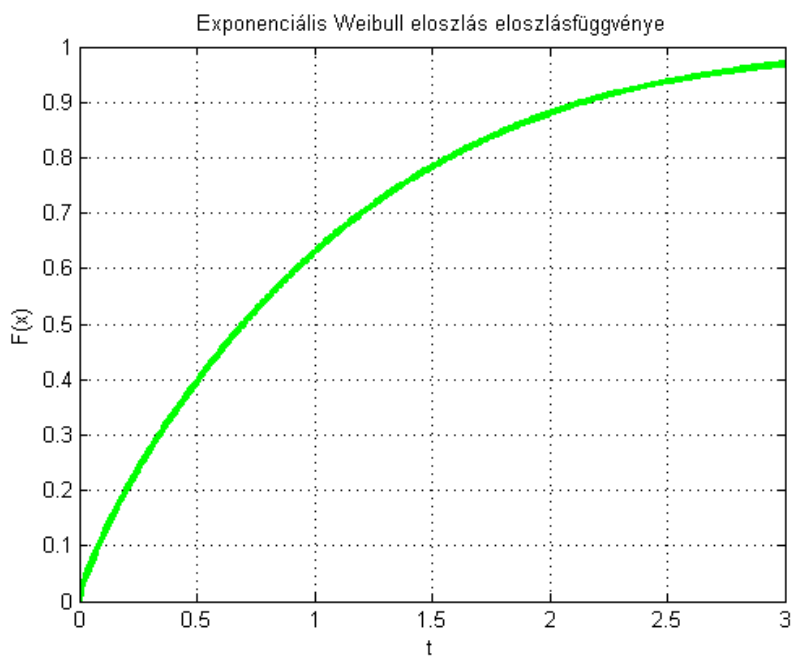
4.1.3.Exponenciális Weibull-eloszlás

Az exponenciális Weibull-eloszlást, a Weibull-eloszlásból származtatta Mudholkar és Srivastava úgy, hogy definiáltak egy második alak paramétert [10]. Az exponenciális Weibull-eloszlás azért használatos, mert a hibaráta függvénye leírja a kád görbék kezdeti szakaszait is, így olyan berendezések is modellezhetőek, amelyek átvételi vizsgálat nélkül kerülnek beszerelésre.

Az exponenciális Weibull-eloszlás eloszlásfüggvénye:

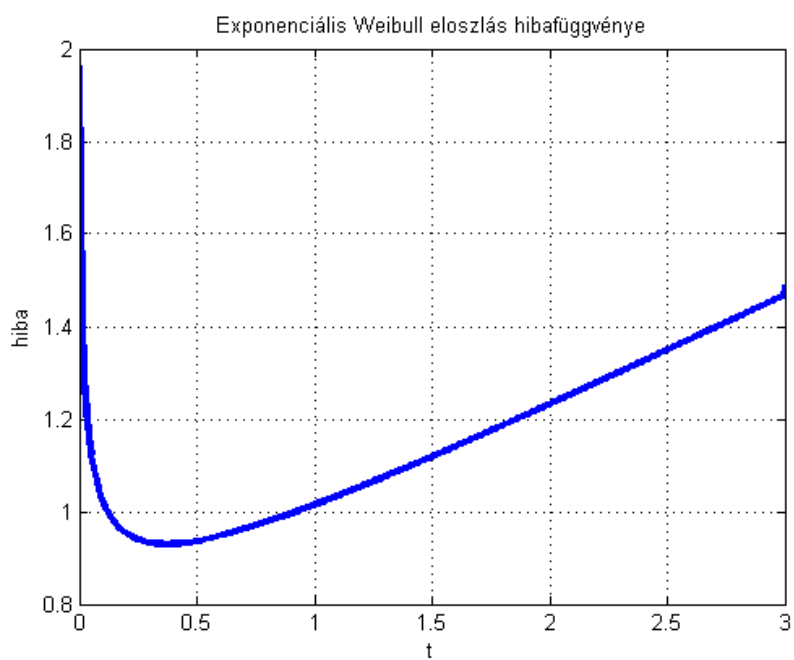
$$F(x) = \left[1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} \right]^\alpha, \text{ ha } x \geq 0, k > 0 \text{ és } \alpha > 0. \quad (14)$$

$$F(x) = 0, \text{ ha } x < 0 \quad (15)$$



15. ábra Exponenciális Weibull-eloszlás eloszlásfüggvénye

A hibaráta függvény alakja:



16. ábra Exponenciális Weibull-eloszlás hibaráta függvénye

Látható, hogy az exponenciális eloszlás hibaráta függvényével le lehet írni egy teljes kádgörbét.

5. „End of life” állapot

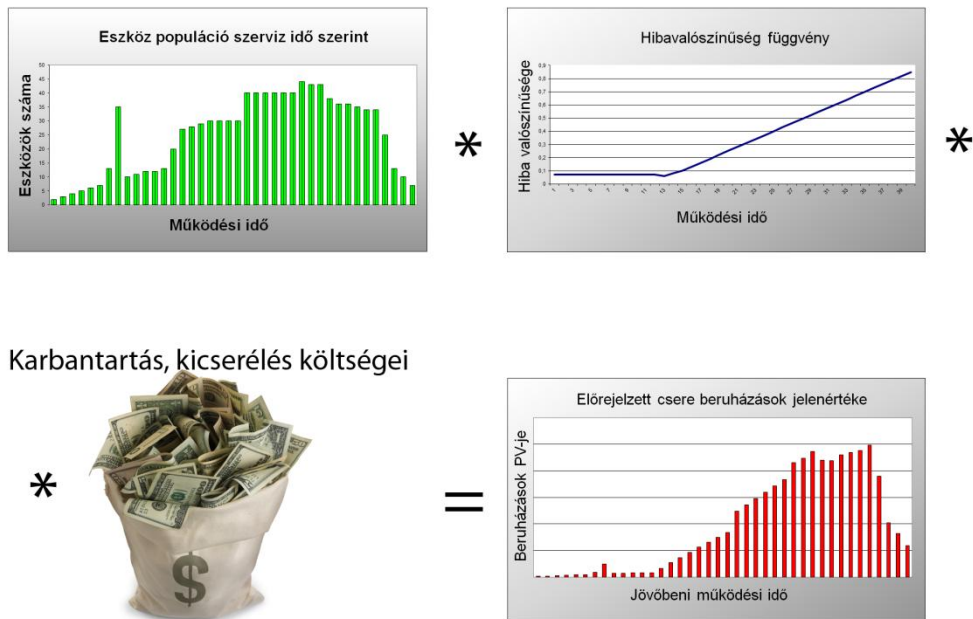
Az „end of life” az, az állapot, amikor egy berendezés nem teljesíti a támasztott követelményeket. Ezek a követelmények technikai gazdasági és stratégiai szempontokat tartalmaznak.

Három szempontot különböztetünk meg:

- műszaki „end of life”: a karbantartás már nem megbízható megoldás, vagy az eszköz egyáltalán nem felel meg a technikai specifikációjának,
- gazdasági „end of life”: amikor egy eszköz javítása kivitelezhető, de nem éri meg,
- stratégiai „end of life”: amikor a berendezés a vállalati érdekeknek és terveknek nem felel meg.

5.1. A jövőre vonatkozó költségek becslése a hibastatisztikákból

Egy jelenleg is használt módszer az öregedő infrastruktúra lecserélésével kapcsolatban a valószínűségi hiba görbék használata különböző eszköz típusokra, amelyek összhangban vannak az eszközök öregedési folyamataival. A módszer az eszköz életének valószínűségi reprezentációján alapszik, felhasználva ezt a kapcsolódó információk kiszűrésére. Néha fel kell használni ezeket az információkat azzal a céllal, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy a beruházások lépést tartanak az infrastruktúra öregedésével, és ezzel elkerülhetjük a jövőbeli váratlan vagy váratlanul megugró kiadásokat. Az információkat rendszerezhetjük egy kiválasztott berendezés csoportra, vagy berendezés csoportok kombinációjára. Ezeket az öregedéssel kapcsolatos információkat évről évre összeszorozzuk a hibaszázalékokkal, amelyek a hibaráta függvényen alapulnak. A lényeg, hogy becslést tudjunk adni a jövőbeli meghibásodások számára.



17. ábra Jövőbeni üzemeltetési költségek becslése

Ez a folyamat követi a hibaráta függvényeket a berendezések egész élete alatt, így minden pillanatban becslést tudunk adni a várható költségekről. Sajnos az adatok minősége nem mindig megfelelő, így nem lehet megbízható hibaráta függvényeket meghatározni. Ezért néhány szolgáltató egyszerűbb módszereket használ, amelyek korhatárokon, várható élettartamokon alapulnak.

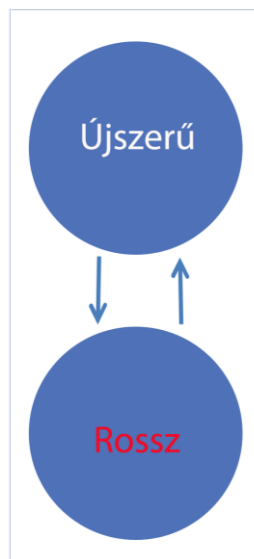
6. Középfeszültségű oszlopok öregedésének szimulációja

A munkám során áramszolgáltatótól kapott, középfeszültségű elosztóhálózatra értelmezett, állapotszámítást valósítottam meg MATLAB környezetben. A vizsgálat célja, hogy a jövőben egy olyan számítógéppel támogatott komplex rendszert hozzak létre, amely lehetőséget ad a hálózattal kapcsolatos jövőbeni költségek becslésére, a különböző, alkalmazott karbantartási és üzemeltetési stratégiák összehasonlítására.

6.1. A szimuláció elméleti alapjai

6.1.1. A szimuláció alapjainak bemutatása egy egyszerű modellen

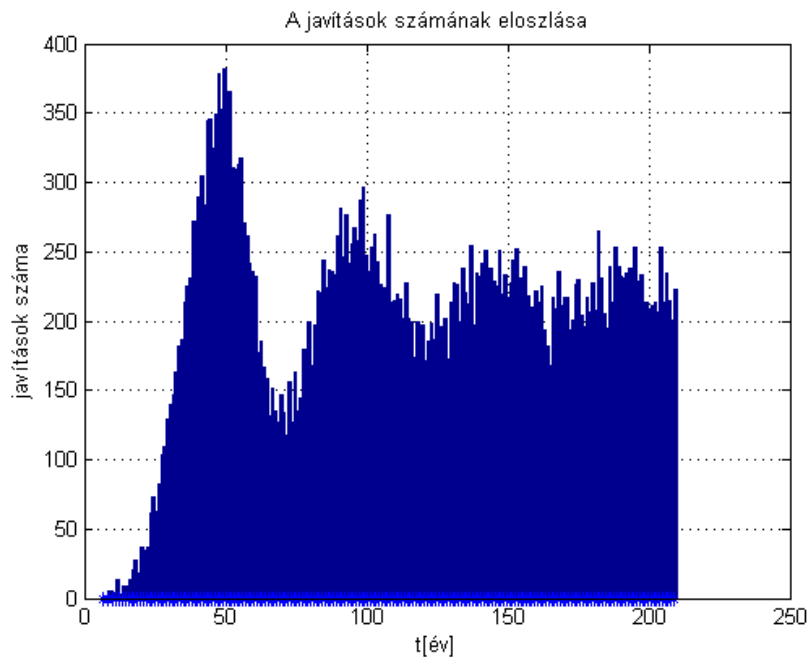
A szimuláció elméleti alapjait egy egyszerűsített modellen szeretném bemutatni. Ebben a modellben egy oszlopnak csak két állapota lehet újszerű, illetve rossz:



18. ábra Lehetséges oszlopállapotok, átmenet

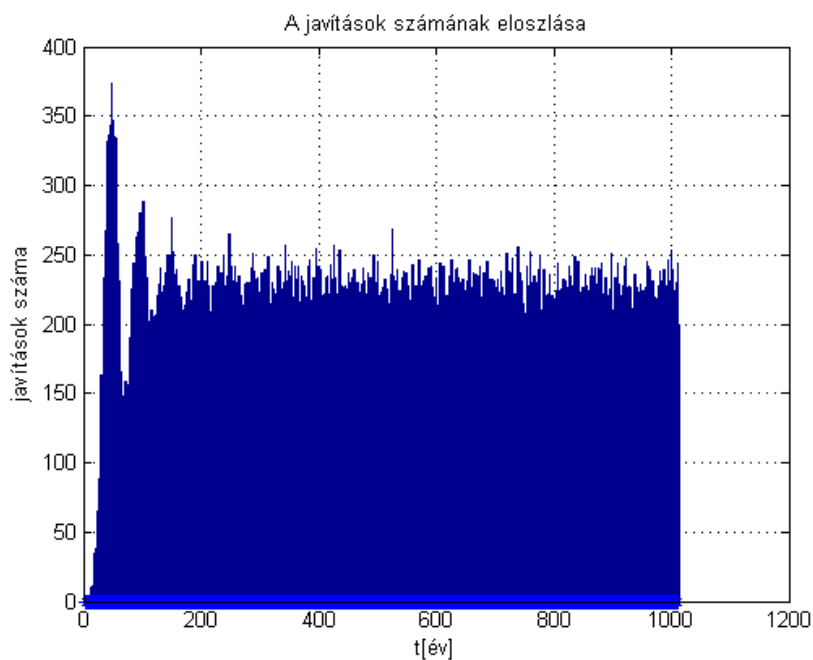
A korábban leírt Weibull-eloszlás eloszlásfüggvénye megadja, hogy az adott t időpontban mekkora a valószínűsége, hogy a berendezés már tönkrement. Ennek megfelelően a szakirodalomból kiválasztottam egyetlen Weibull-eloszlást és a továbbiakban ennek a skála illetve alak paraméterét használtam. Ezt hozzárendeltem

egy egész oszlop, minden berendezéséhez. Ezáltal az oszlopokat is egyenként, egyetlen Weibull-eloszlással jellemezhetem. Minden oszlopra egyenként vettem egy véletlen számot a 0-1 intervallumon, ami a valószínűséget adja, majd megnéztem, hogy mekkora értéket vesz fel az eloszlás erre a számra. Ha az egyik oszlop elérte a generált élettartama végét, akkor ahhoz új értéket rendeltem. Majd szimulálva az idő múlását ábrázoltam a javítások számának eloszlását:



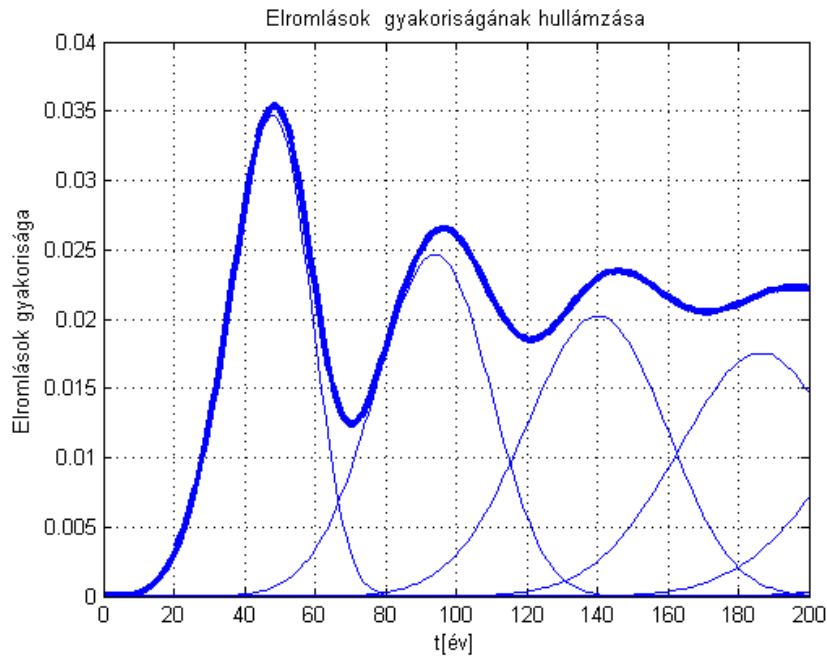
19. ábra A javítások számának eloszlása

A görbén megfigyelhető a kezdeti MTBF-nél (körülbelül negyvenöt év) jelentkező nagyszámú javítás, majd a folyamatos javításoknak köszönhetően a javítások száma egyre kiegyensúlyozottabb lesz. A következő ábrán ezt a kisimulást szeretném bemutatni. Látható, hogy kisebb kiugrásoktól eltekintve a javítások száma az idő múlásával állandósul. A megadott időtartamok (kétszáz illetve ezer év) csak az elmélet bemutatására szolgálnak, gyakorlati jelentősége nincs.



20. ábra A javítások számának kiegyenlítődése

Az ábrákon a választott Weibull-eloszlás, sűrűségfüggvénye köszön vissza, hiszen a sűrűségfüggvény az eloszlásfüggvény deriváltja. A következő ábrával szeretném szemléltetni, hogy az előző megközelítés nem más, mint a sűrűségfüggvények autokonvolúciója. A kiválasztott Weibull-eloszlás sűrűségfüggvényét konvolváltam önmagával, ezt végrehajtottam néhányszor, majd a kapott értékeket összeadtam és ábrázoltam:

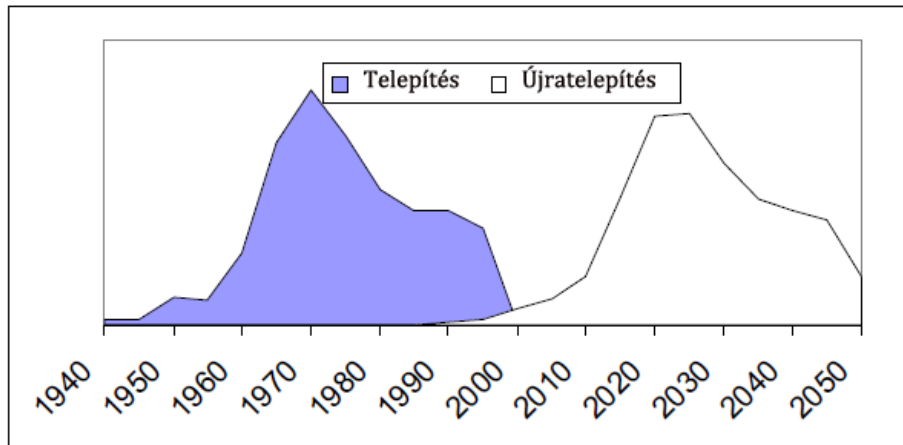


21. ábra Sűrűségfüggvény autokonvolúciója

A vastag vonallal jelölt függvény a vékony, konvolúcióval kapott értékek összege. Az első görbe a Weibull-eloszlás valószínűség sűrűségfüggvényét adja vissza, a másodikat pedig úgy kapjuk, hogy az elsőként tönkrement oszlopoknak új értéket adunk. Két független valószínűségi változó összege pedig a sűrűségfüggvényük konvolúciója. Ezt hajtottam végre egymás után többször, majd ábrázoltam. Ezen az ábrán is megfigyelhető, hogy hosszabb távon az évenkénti javítások száma állandósul.

Ha az oszlopokat nem egyszerre telepítjük, hanem például a korábban bemutatott második ábra szerint, akkor a következő módon vezethető le az elromlások eloszlása.

Az eddig tárgyalt matematikai apparátussal szeretném bemutatni az elromlások eloszlásának kiszámolását. Megkímélve az olvasót a visszalapozás fáradalmaitól, ismételten bemutatom a korábbi ábrát.

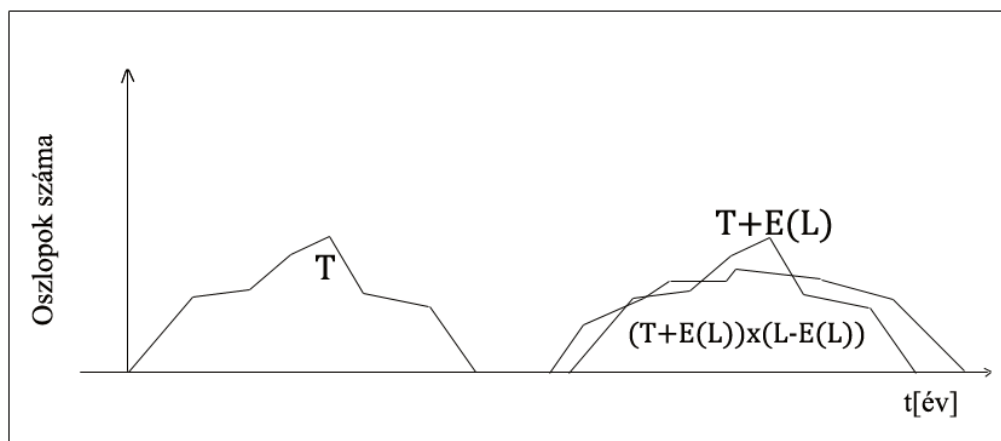


22. ábra Telepítés és kicserélés eloszlás (alállomási berendezések)[2]

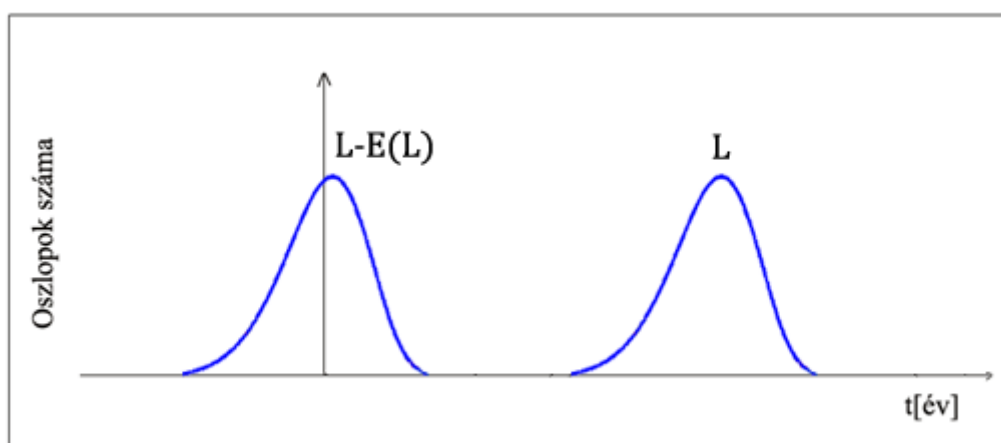
Két valószínűségi változó összegét keressük, az egyik a telepítések sűrűségfüggvénye (T), a másik pedig az élettartamok sűrűségfüggvénye (L), annak érdekében, hogy megkapjuk az elromlások sűrűségfüggvényét. Ezt az összeadást az alábbi módon bonthatjuk fel:

$$T+L=(T+E(L))+(L-E(L)) \quad (16)$$

Az első tag a várható értékkel eltolja a telepítéseket, a második tag pedig a várható érték kivonásával centrálja az élettartamokat. Ha az így kapott két függvényt konvolváljuk, akkor az elromlások sűrűségfüggvényét kapjuk meg.



23. ábra Telepítések, elromlások sűrűségfüggvénye



24. ábra Élettartamok sűrűségfüggvénye és annak centráltja

6.1.2. A bemeneti adatok kezelése

A szolgáltatótól kapott táblázatban a közép feszültségű elosztóhálózat oszlopain előforduló hibák szerepeltek, minden hibához tartozott kétféle súlyozás és egy MTBF érték is. A súlyozást később ismertetem.

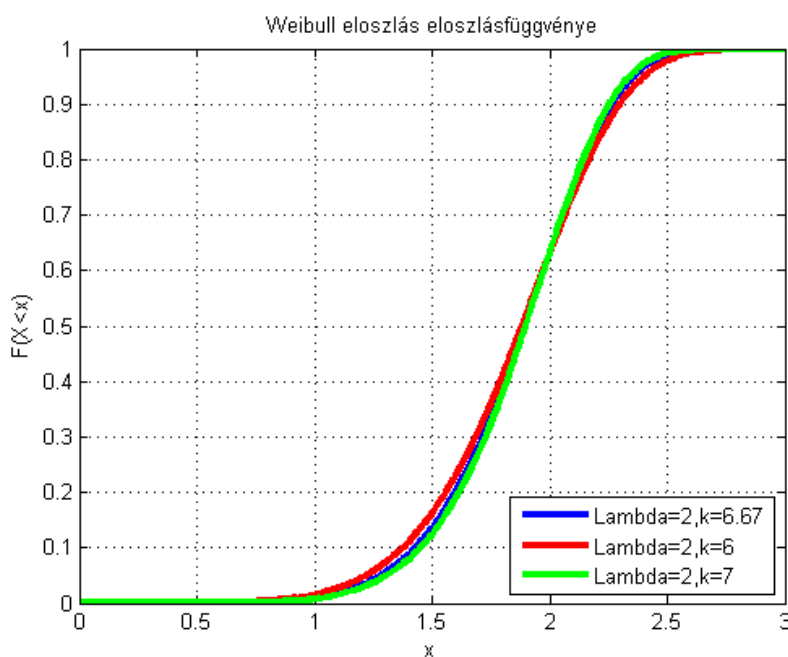
Ahhoz, hogy minden berendezéshez egy Weibull-eloszlást rendeljünk, szükségünk van a Weibull-eloszlások paramétereire. Korábban leírtam, hogy a Weibull-eloszlásnak két paramétere van az alak és a skála paraméter. A skála paraméter az MTBF értékekből a következő módon számolható ki:

$$MTBF = \lambda \Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right), \quad (17)$$

ahol Γ az Euler-félegamma függvény, amit a következőképpen definiálunk:

$$\Gamma(n) = \int_{-\infty}^0 e^{-x} x^{n-1} dx. \quad (18)$$

Minden MTBF értékre elvégeztem a számolást, akkor rendelkezésemre állt, az összes hibára a Weibull-eloszlások skála paramétere. Az alak paramétert meghagytam a korábban kiválasztott értéken, mivel a szakirodalomban csak kismértékű eltérések voltak a különböző alak paraméterek között, és a következő ábra szemlélteti, hogy nem jelent nagy változást az eloszlásfüggvényben, ha az alak paraméter kismértékben eltér:



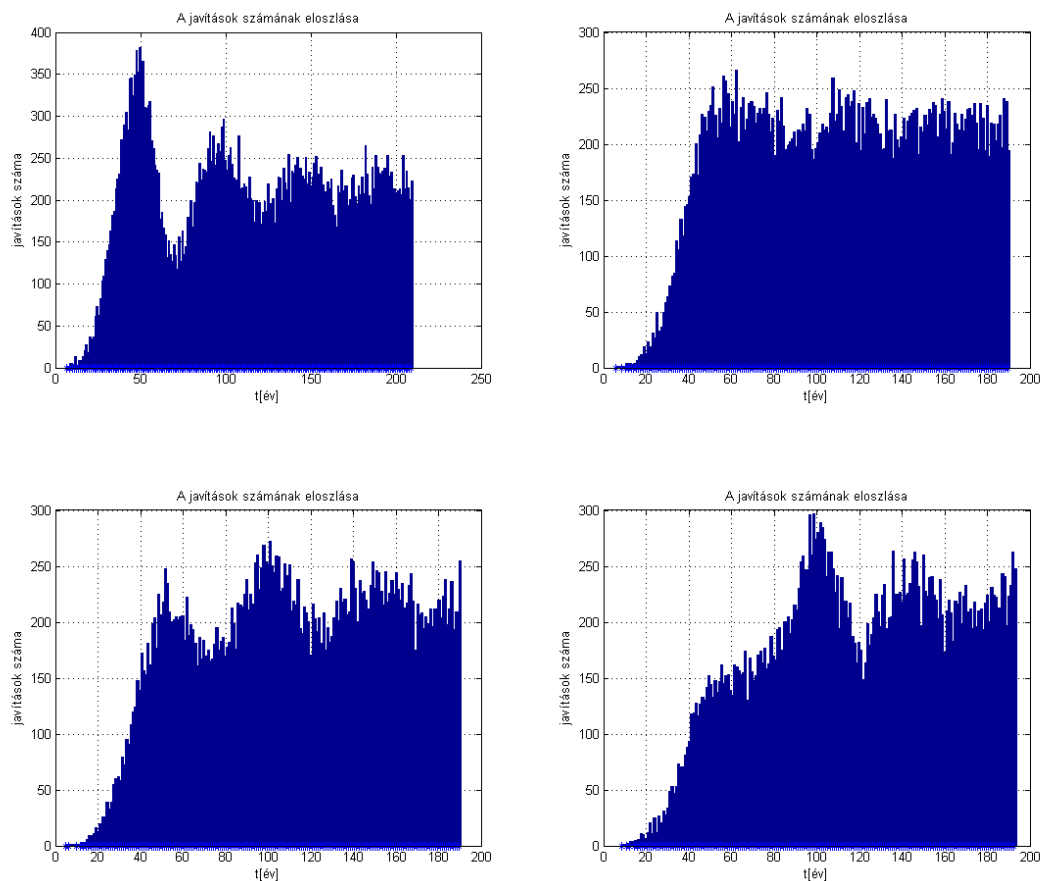
25. ábra Eloszlásfüggvény változása

6.2. A villamosenergia-rendszerek folyamatos bővítésének hatása

Két egyszerűsített példával szeretném bemutatni, a folyamatosan bővülő villamosenergia hálózat öregedését. Mivel a gyakorlatban a közép feszültségű elosztóhálózat folyamatosan új oszlopokkal bővül, ezért fontosnak találtam ennek az esetnek a modellezését is.

6.2.1. Oszlopok telepítése több ütemben

A közép feszültségű elosztóhálózat általában sugaras felépítésű, többségében a vidéki elosztóhálózat része. Kezdetben az oszlopokat folyamatosan telepítették, később pedig, egy-egy bővítés esetén több-kevesebb oszlopot állítottak fel. A következő ábrákon látható, hogy milyen értékeket vettem fel, és ezek milyen hatással voltak a becsült javításokra.



26. ábra Oszlopok különböző időpontbeli telepítésének szemléltetése

A bal felső ábrán az eredeti helyzet látható, ahol az összes oszlopot egyszerre telepítjük. A mellette lévő ábrán elsőként az oszlopok felét telepítettem, majd húsz év múlva a negyven százalékát, majd rá harminc évre a tíz százalékát. Látható, hogy a javítások számában nem figyelhető meg az eredeti helyzethez hasonló kiemelkedés az MTBF érték környékén.

A harmadik ábra teljesen más jellegű, elsőként szintén az oszlopok felét telepítettem, majd húsz év múlva a harminc százalékát, majd innentől számítva húsz évvel később a maradék húsz százalékát. A legnagyobb kiemelkedés a századik évnél figyelhető meg, ennek oka, hogy akkor érik el az elsőnek telepített oszlopok másodszor a várható élettartamukat, míg az utolsónak telepítettek pedig először.

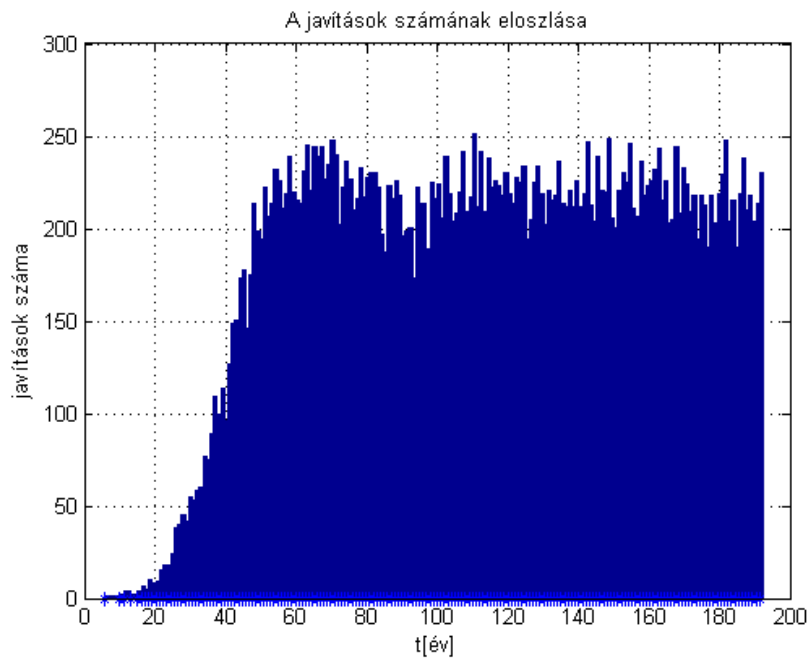
Az utolsó ábrán a következő helyzetet modelleztem: Elsőként az oszlopok harminc százalékát telepítettem, majd húsz év múlva ismét harminc százalékát, majd harminc évre rá a maradék negyven százalékát. Látható, hogy a legnagyobb csúcs itt is a századik évnél figyelhető meg, az indoklás hasonló, mint az előző esetben.

A bemutatott esetek magyarázhatóak a Weibull-eloszlás sűrűségfüggvényének konvolúcióival.

6.2.2. Oszlopok telepítése folyamatosan

A szimulációt kiegészítettem egy olyan függvénnyel, amely lehetővé teszi, hogy az oszlopokat ne egyszerre telepítsük, így megpróbáltam modellezni azt az esetet, amikor egy hálózatot folyamatosan új oszlopszakaszokkal bővítik.

Az oszlopok húsz százalékát telepítettem elsőként, majd az ezt követő harmincöt százalékot a következő húsz évben folyamatosan raktam le. A további harminc százalékot az ezt követő tíz évben egyenletesen telepítettem, a maradék tizenöt százalékot pedig ezek után egyszerre.



27. ábra Példa a folyamatos telepítésre

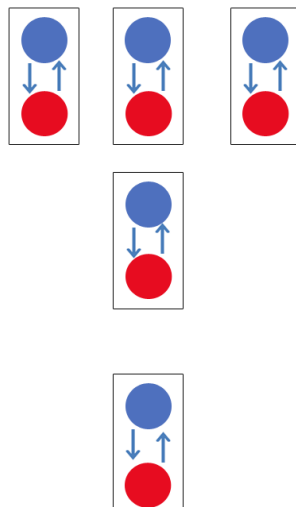
Az ábrán megfigyelhető a folyamatos telepítések miatti egyenletesség és az egyszeri telepítések által okozott csúcsosság.

7. Állapotsúlyozás, állapotindex képzés megvalósítása

A szolgáltató összesen nyolcvanhárom lehetséges hibát jegyzett fel, mindegyikhez rendelkezésemre állt a korábban említett MTBF értékek mellett kétféle súlyozás. A hibahelyeket mérési pontokban csoportosították, és a súlyokat ennek megfelelően mérési ponton belülre és mérési pontok közöttre osztották fel. Ha egy mérési ponton egyik hiba sem következett be, akkor az a mérési pont száz százalékos. Ha egy oszlop esetében minden mérési pont száz százalékos, akkor az oszlop is száz százalékos állapotban van.

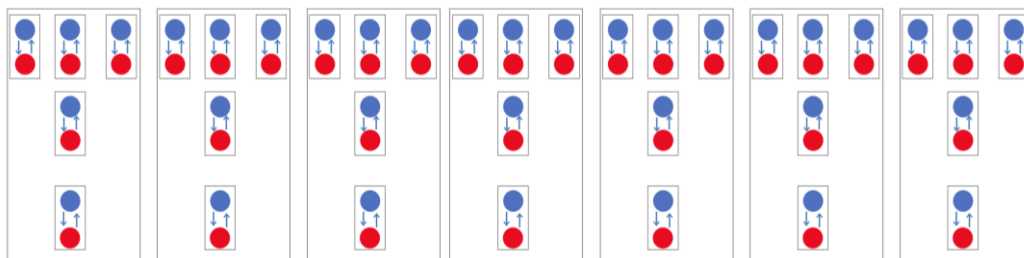
7.1. Az állapotindex képzése

A közép feszültségű oszlopok minden hibahelyéhez egy-egy Weibull-eloszlást rendeltem, amely megadta, hogy az adott hibahelyen melyik pillanatban fog egy hiba bekövetkezni.



28. ábra Egy-egy eloszlás hozzárendelése a különböző hibahelyekhez

Ezt megvalósítottam a hálózat összes oszlopára, ezáltal kaptam egy mátrixot, amelyben minden oszlopra, és minden hibahelyre szerepelt a várható generált élettartama.

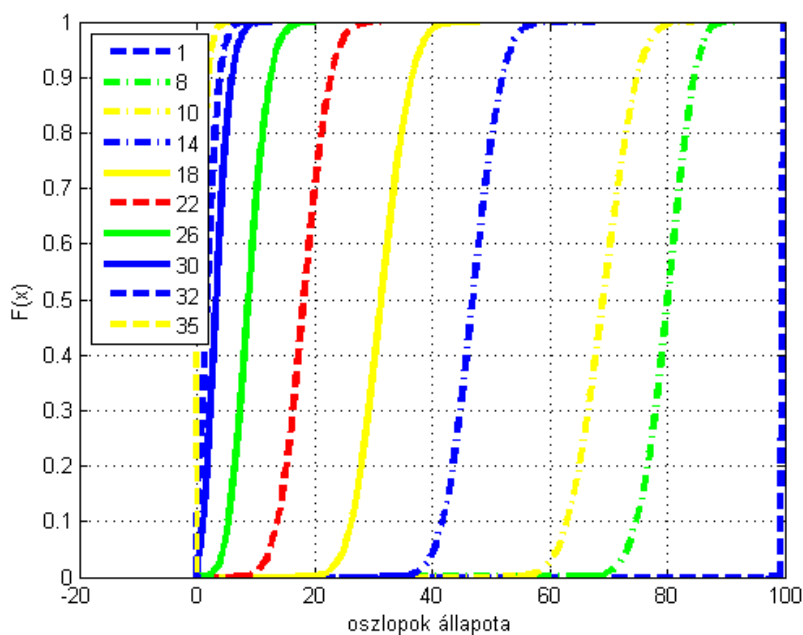


29. ábra Hozzárendelések megvalósítása minden oszlopra

7.1.1. Oszlopok állapotának romlása javítás nélküli esetben

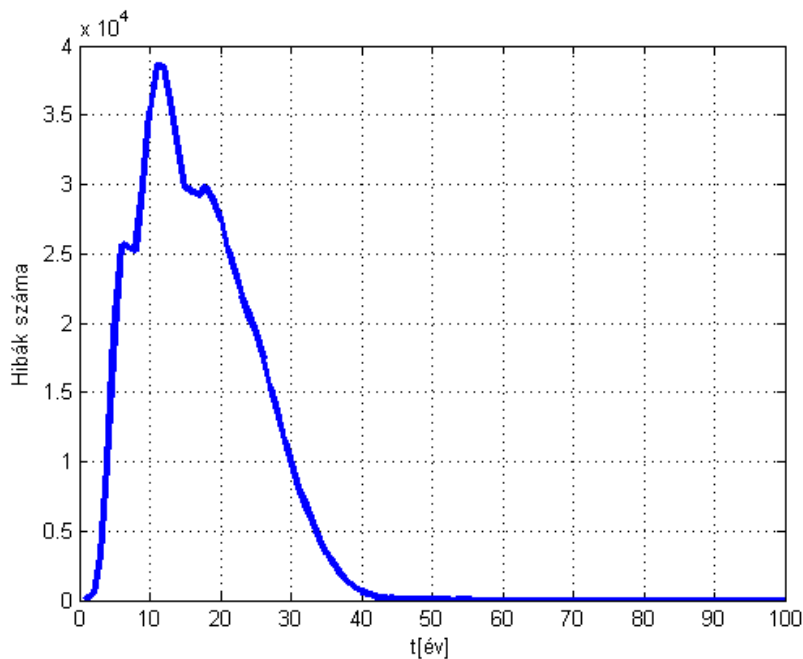
Folyamatosan csökkentettem az éveket. és ennek megfelelően előbb-utóbb egy hibahelyen bekövetkezett egy meghibásodás. Amint ez megtörtént, a súlyozásnak megfelelően az adott oszlop állapota csökkent.

Ha nem javítjuk meg a meghibásodásokat, akkor idővel az összes oszlop tönkremegy. Javítás nélkül kiszámoltam tízezer oszlop állapotát, és ezt ábrázoltam néhány év esetében:



30. ábra Oszlopok állapotának ábrázolása különböző években

Az ábrán látható, hogy az első évben az oszlopok állapota maximális, majd az „idő múlásával” folyamatosan romlik az oszlopok állapota. A görbék a megadott Weibull-eloszlások eloszlásfüggvényeit adják vissza, különböző várható értékekkel. A következőkben kiszámoltam, majd ábrázoltam a meghibásodások számát:



31. ábra Meghibásodások száma

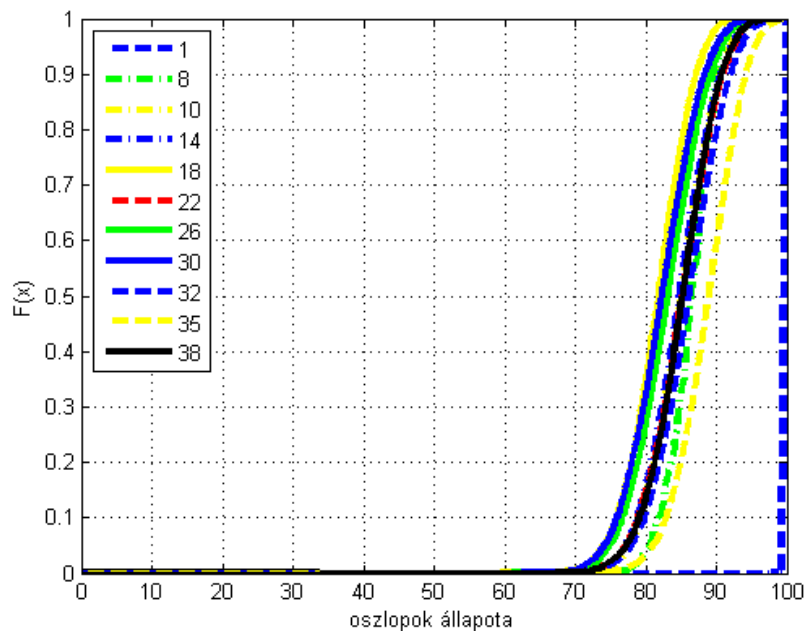
Az ábráról leolvasható, hogy a legtöbb meghibásodás a tíz-tizenötödik évig terjedő szakaszban történik. Ennek oka, hogy a legtöbb hibahelyen az MTBF értékek is erre a szakaszra esnek, hiszen a korábban ismertetett átalakítás nagyságrendileg nem változtat rajtuk.

7.1.2. Oszlopok állapotának romlása javításos esetben

Az áramszolgáltató minden egyes hibát rangsorolt, annak megfelelően, hogy meghibásodás után mikor kell az adott berendezést kicserélni, megjavítani. Ennek megfelelően felvettem ezeket a paramétereket a szimulációs programomba, az előálló hibákat pedig egy mátrixban jegyezve tartottam nyilván. Amikor a hiba elérte a megjavításhoz szükséges időt, akkor kicseréltem, megjavítottam az alkatrészt. A

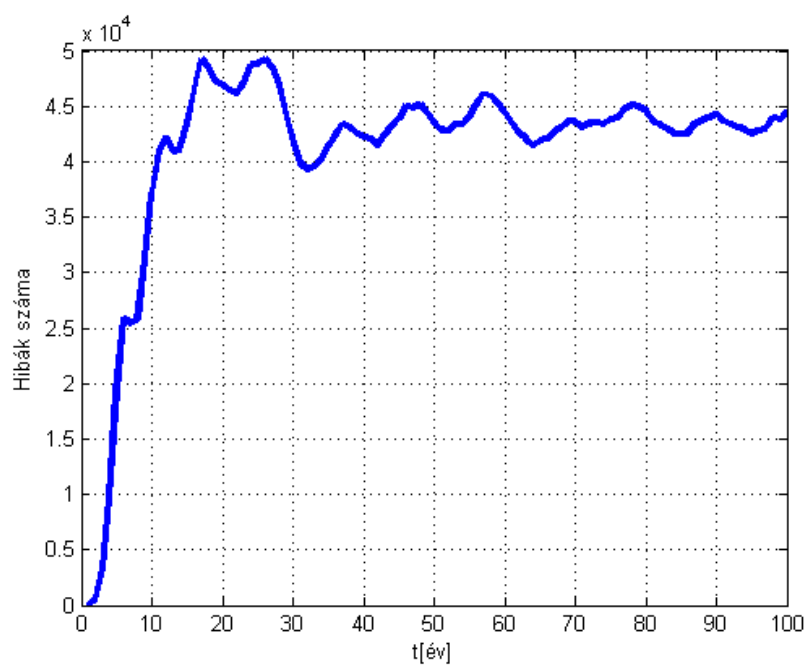
hiba fennállása alatt természetesen az oszlop állapotába ezt beleszámítottam. A következő ábrán mutatom be az oszlopok állapotának változását.

Látható, hogy az első évben még minden oszlop száz százalékos állapotban van. Azonban, ahogy múlik az idő, ez folyamatosan romlik. A telepítés utáni harmincadik évben vannak a legrosszabb állapotban az oszlopok, majd látható, hogy a harminckettedik és a harmincötödik évben már megfigyelhető a javítások hatása. Ezért is fontos, hogy időben megjavítsuk a berendezéseinket, mert ebben az esetben visszaállhat a harminc évvel korábbi állapot (A fekete harmincnyolcadik évben ábrázolt görbe majdnem megegyezik a zöld pontvonalas görbével.).



32. ábra Oszlopok állapota, javításos esetben

A következő ábrán látható a meghibásodások száma. Itt is megfigyelhető a korábban már látott csúcs a tíz-tizenötödik évek között, azonban látható a javítások hatása is. A harmincadik év után a meghibásodások száma lecsökken, ezért is figyelhető meg a harmincöt és harmincnyolcadik évben az oszlopok jó állapota.



33. ábra Meghibásodások száma javítás esetén

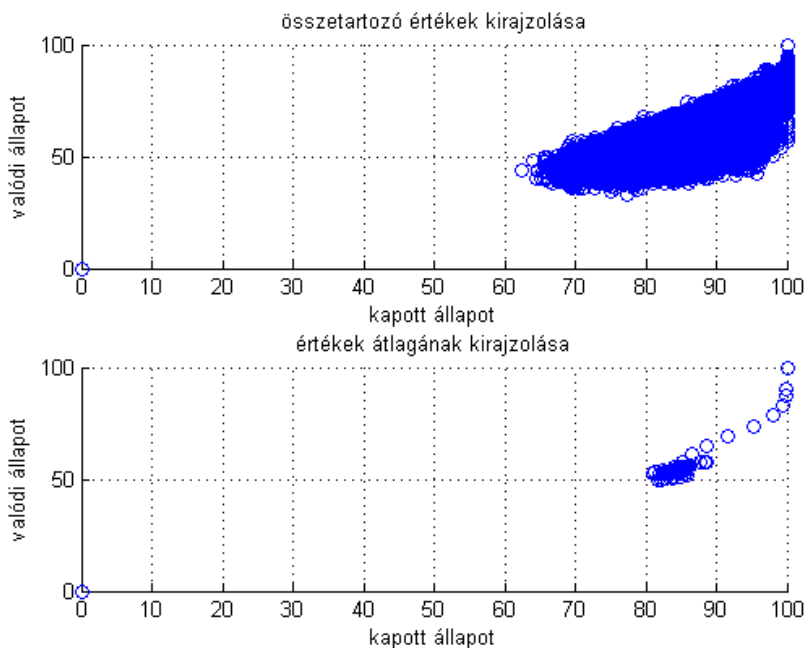
8. Szimulációs eredmények

A következőkben szeretném bemutatni azokat az ábrákat és eredményeket, amelyek a szimulációs program folyamatos fejlesztése során adódtak. A program lépcsőzetes felépítésével lehetőségem nyílt lépésről-lépésre megismerni az állapotsúlyozással elképzelt flotta állapotának változását. A vizsgálat során felmerült néhány olyan kérdés, amelyen esetleg változtatni kellene.

8.1. Valódi állapot bevezetése, összehasonlítása a kapottal

Az egyes berendezések állapotát, a korábban már megismert „slippery slope”-al közelítik, ennek megfelelően én is definiáltam minden hibahelyre egy ilyen állapot függvényt. Ebből a függvényből a korábbi súlyozás segítségével számoltam ki az oszlopok állapotának változását. Az eszközök öregedését így feltételeztem: Az állapot a meghibásodás előtti tíz évig konstans száz százalék, majd utána a meghibásodásig egyenletesen csökken, amikor nullát ér el.

Ezután megvizsgáltam a két számítási mód közötti lineáris kapcsolatot. A következő ábrán ezt mutatom be:



34. ábra Állapotszámítás módszerek közötti kapcsolat vizsgálata

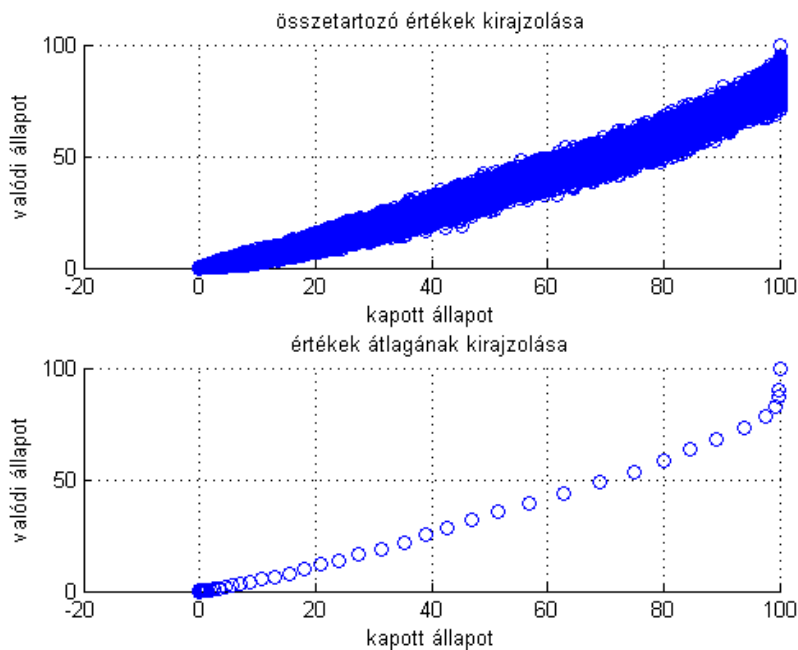
Ha a kapott állapotszámolással becsült oszlopállapotokat egy vektorba sorakoztatom, majd a valódi állapottal számoltakat úgyszintén, akkor a két vektor lineáris kapcsolatát a következő módon vizsgálhatom: Ábrázolom a vektorokban szereplő összetartozó értékeket, és ha a kapcsolat közel lineáris, akkor a két számítási mód között létezik lineáris kapcsolat. Ezt láthatjuk a felső ábrán.

A kapcsolat számszerűsítésére a következő módon van lehetőség: Megvizsgáljuk, hogy a két vektor mekkora szöget zár be egymással, majd vesszük, ennek a szögnek a koszinuszát. Ha az így kapott érték közelíti az egyet, akkor az azt jelenti, hogy a két vektor közel párhuzamos, tehát a lineáris kapcsolat fennállhat.

Az alsó ábrán az állapotok átlagából alkotott vektorokat ábrázoltam az előbb említett módon, a számoláshoz minden esetben a normalizált korreláció értékeit használom. Látható, hogy vannak olyan esetek, amelyekben a valódi állapot már leromlott, azonban a kapott állapotszámítás még egy jó állapotú berendezést mutat. A Pearson-féle korrelációs együttható értéke 0,71 körüli. Ennek következménye, hogy előfordulhat olyan, hogy egyes oszlopok állapota hirtelen romlik le. Ez azért nem jó,

mert így nem tudjuk a korábban említett célt tartani, miszerint a jövőbeni költségek minél egyenletesebben oszoljanak el.

Ha ugyanezt a vizsgálatot elvégezzük javítás nélküli esetben is, tehát hagyjuk, hogy az oszlopok állapota teljesen leromoljon, akkor szembetűnőbb képek kapunk a kapcsolatról.



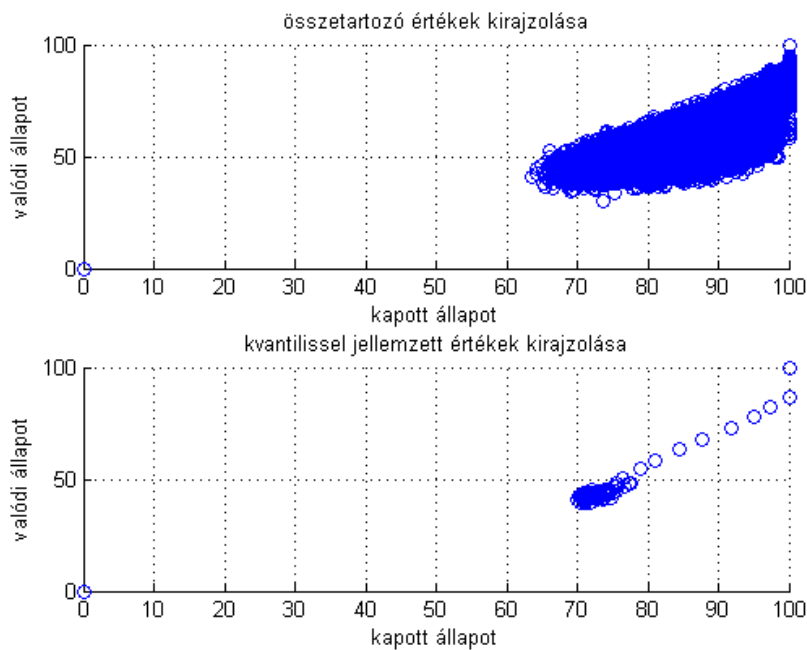
35. ábra Állapotszámítások közötti kapcsolat szemléltetése javítások nélkül

8.2. Kvantilisek bevezetése

Mivel a korreláció érzékeny a kilógó elemekre (outlier), és az átlagképzés során ezek hatása érzékelhető, ezért érdemes bevezetni a kvantiliseket. Továbbá egy közép feszültségű távvezeték szakasz vizsgálata során figyelembe kell vennünk annak sajátosságait is. Ha a távvezeték szakasz egyik, energiaszolgáltatásban nélkülözhetetlen, eleme teljesen meghibásodik, akkor felesleges foglalkozni a többi elemmel, hiszen a legfontosabb cél nem teljesül.

Ezért az előző számolást átalakítva megvizsgáltam, hogy milyen kapcsolat van a kapott és a felvett állapotszámolás között, abban az esetben, ha az oszlopok

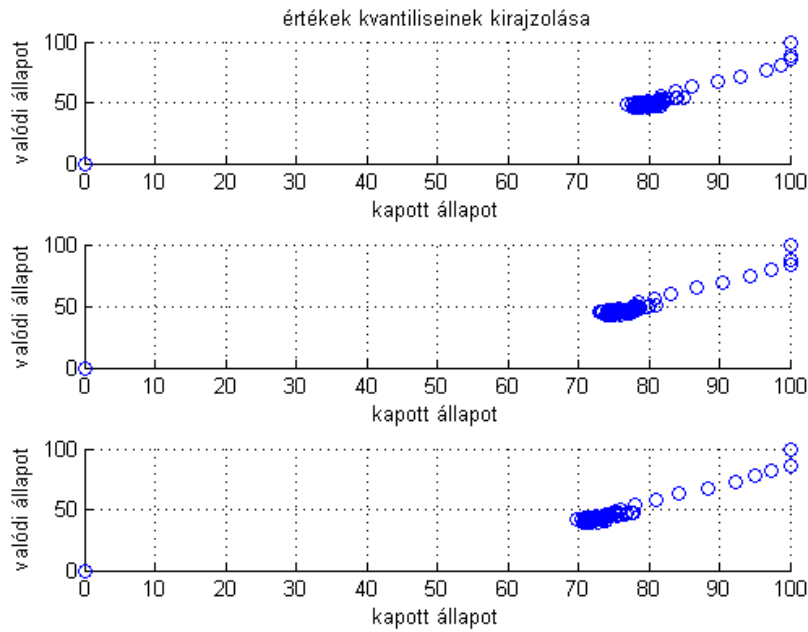
állapotának nem az átlagát, hanem percentilisét vesszük figyelembe. A korábban részletezett vektort részekre osztva, és véve az alsó század részét kapom a percentilis értékét. A következő ábrán tehát nem az átlagaikkal jellemzem a mennyiségüket, hanem a kvantiliseikkel. Ebben az esetben látható, hogy a lineáris kapcsolat jobb. Pearson-féle korrelációs együttható értéke 0,91 körüli.



36. ábra Kvartilis értékek kirajzolása

8.2.1. Kvantilis értékek változtatása

A szimuláció során minél alacsonyabb kvantilis értéket választunk, annál jobb a lineáris kapcsolat a két állapotszámítás között. A következő ábrákon ezt szeretném szemléltetni. Az első esetben a kvintilissel jellemzem, a másodikban az ötszázás kvantilissel, a harmadikban pedig a percentilissel.

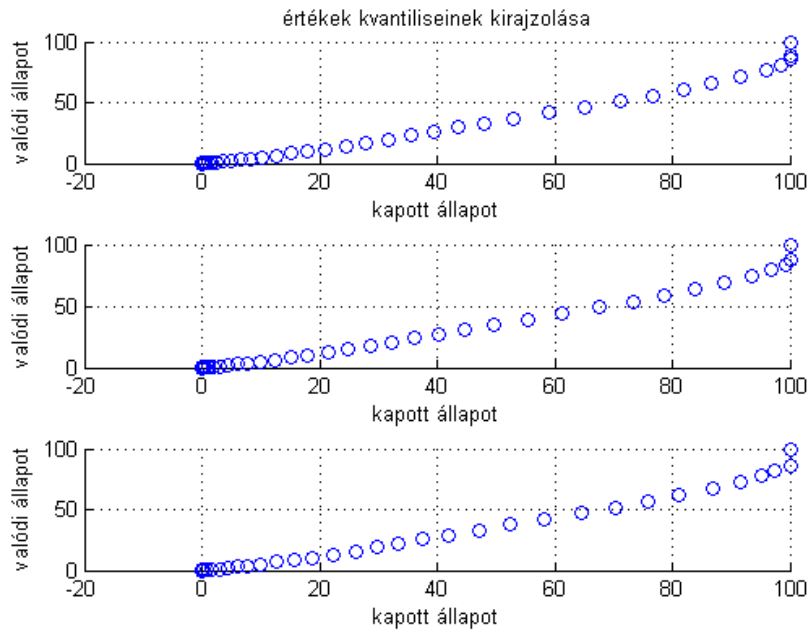


37. ábra Lineáris kapcsolat ábrázolása különböző kvantilis értékekkel

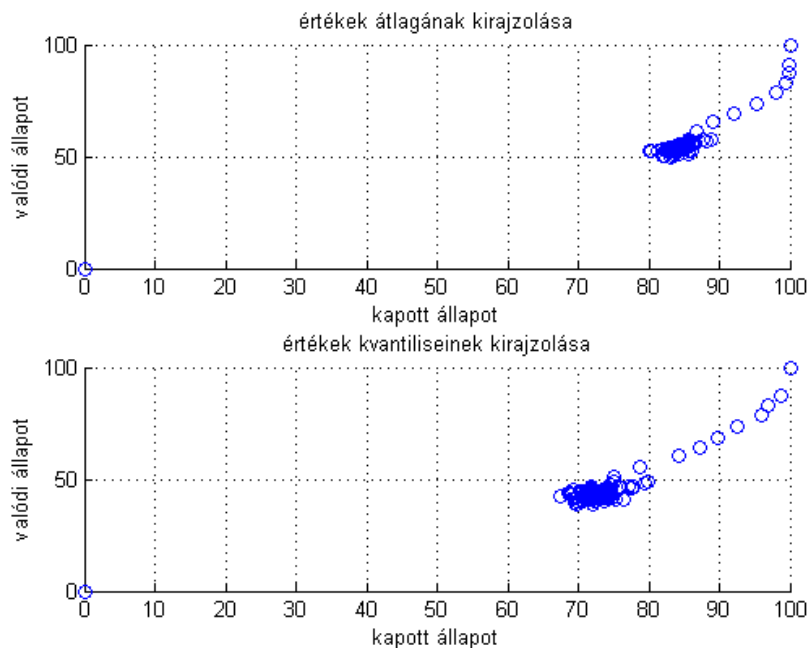
A számítás során a következő korreláció értékek adódtak:

- huszadik percentilis esetén: 0,9704,
- ötödik percentilis esetén: 0,9784,
- percentilis esetén: 0,9821.

Az ábrából és a kiszámolt korrelációkból arra lehet következtetni, hogy a percentilisek alkalmazásával lehet a legjobb korrelációt elérni. A következő ábrán a még jobb szemléltetés érdekében javítások nélküli esetben mutatom be a kapcsolatot.



38. ábra Lineáris kapcsolat ábrázolása különböző kvantilis értékekkel javítás nélküli esetben
Ebben az esetben szembeűnőbb a lehetséges lineáris kapcsolat. Annak érdekében, hogy láthassuk a kvantilisek előnyét, a következő ábrán a kvantiliseket és az átlagot fogom összehasonlítani.



39. ábra Átlagok és kvantilisek használatának összehasonlítása

Látható, hogy a kvantilisek alkalmazásával szinte teljesen eltűnik az a jelenség, miszerint a kapott állapot még száz százalékos, ellenben a valódi már hetvenöt körűli.

9. Összefoglalás, további lehetőségek

Az elméleti alapokat összefoglalva majd azokból kiindulva sikerült megvalósítani egy olyan szimulációs programot, amely valószínűségi módszerekkel becslést ad a középfeszültségű hálózat oszlopainak állapotának romlására. A szimuláció bemeneti adatait egy táblázatban tároltam, így ha a súlyozáson vagy az MTBF értékeken módosítani szeretnénk, azt könnyen megtehetjük.

Előnyös lenne megjeleníteni a becslés pontosságát, ezért a programot szeretném konfidencia intervallumok számolására is alkalmassá tenni.

Az eredményeknél említett összehasonlítás során bebizonyosodott, hogy az állapot súlyozás nem tökéletes, ezért érdemes lenne azon módosítani. Át kell gondolni a kezdeti meghibásodásokkal kapcsolatos hibák esetleges figyelembe vételét.

Mivel a rendszer egy-egy hibahelyre csak két állapotot különböztet meg, emiatt nincs lehetőség a hiba megelőzésére. Ennek megoldása több állapot bevezetése, amelyek sorrendben új, javított, leromlott, rossz lenne. Az újonnan telepített berendezések esetén szerepelnének a kezdeti meghibásodások, a javítás esetén viszont nem. Ennek megfelelően alkalmazható lenne az állapot alapú karbantartás is.

Ha becslést adunk a leromlott állapotban lévő berendezésekre, akkor nem csak a jövőbeni költségek becslése lenne lehetséges, hanem azok dinamikus változtatása is annak megfelelően, hogy az adott évben mennyi oszlop szorul majd várhatóan javításra, és hány darab kerül leromlott állapotba.

Érdemes lenne a karbantartásokhoz összegeket rendelni, valami további szempontokat is figyelembe véve becslést adni az összes karbantartási, javítási költségre.

TDK dolgozatom készítése során betekintést nyerhettem egy szerteágazó témakör egyik fontos szegletébe. A jelenlegi üzleti környezetben nagyon fontos, hogy olyan megoldásokat válasszunk, amelyek pénzt és energiát spórolnak, az

eszközmenedzsment mindkettőt lehetővé teszi, hiszen egy jó eszközstratégiával rengeteg nem várt kiadást kerülhetünk el. Nem véletlen, hogy az ipari szereplők többsége, nemcsak a villamosenergia iparban, érdeklődik iránta, és igyekszik saját eszközgazdálkodási stratégiát kidolgozni.

11. Irodalomjegyzék

- [1] Luspay Ödön: *Közép és nagyfeszültségű hálózati berendezések diagnosztikai vizsgálata*. Budapest: Magyar Áramszolgáltatók Egyesülete, 2000.
- [2] CIGRÉ Working Group 37-27: *Ageing of the system impact on planning*, 2000.
- [3] CIGRÉ Working Group C1.1: *Asset management of transmission system and associated Cigre activities*, 2006.
- [4] CIGRÉ Working Group C1.16: *Transmission Asset Risk Management*, 2000. Augusztus.
- [5] CIGRÉ Working Group D1.17: *Generic guidelines for life time condition assessment of hv assets and related knowledge rules*, 2010. Június.
- [6] Rick Bush: (2010. Január), *Transmission & Distribution World*. [Online].
<http://tdworld.com/business/low-cost-country-sourcing-20100101/>
- [7] Gerd Balzer, Armin Precht Andrej Schreiner: *Risk sensitivity of failure rate and maintenance expenditure*, 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 14-17 June 2010 IEEE.
- [8] G.S. Mudholkar, D.K. Srivastava: *Exponentiated Weibull family for analyzing bathtub failure-rate data*, IEEE Transactions on Reliability, 1993. Június.
- [9] J.J. Smit, A.L.J. Janssen R.A. Jongen: *Application of Statistical Analysis in the Asset Management Decision Process*, International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, 2008. Április.
- [10] Rogier A. Jongen, Edward Gulski, Johan J. Smit Piotr Cichecki: *Statistical Approach in Power Cables Diagnostic Data Analysis*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2008. December.
- [11] F. Vahidi, J. Gebauer, M. Krüger és P.Müller S. Tenbohlen: *Assessment of power transformer reliability*, International Symposium on High Voltage Engineering, 2011. Augusztus.

- [12] Jochen Bühler, Thanos Krontiris, és Gerd Balzer: *Calculation of Outage Costs for Maintenance Purposes in Medium Voltage Networks*, 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference , 2010. Április.
- [13] Leyla Asgarieh, Gerd Balzer, és Armin J. Gaul: *Condition Assessment for Optimal Planning and Operation of Power Systems with the Aid of Ageing Models*, IEEE Bucharest Power Tech Conference, 2009. Június.
- [14] Yuan Li, S. Yeddanapudi, James D. McCalley, és Ali A. Chowdhury: *Degradation-path Model for Wood Pole Asset Management*, Proceedings of the 37th Annual Power Symposium North American, 2005. Október.
- [15] Steinar Refsnæs, Lars Rolfseng Rolfseng, Eivind Solvang, és Jørn Heggset: *Timing of Wood Pole Replacement Based on Lifetime Estimation*, 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2006. Június.
- [16] Bálint Németh, Csaba Vörös, Richárd Cselkó, Gábor Göcsei: *New Method for Improving the Reliability of Dissolved Gas Analysis*, IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena 2011, Cancún, Mexico, 2011. október 16-19