



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék

A fenntartható energetika villamos rendszerei

**A öregedésmenedzsment alapjai, hálózati elemek
állapotának ellenőrzése, minősítése**



Cselkó Richárd

Villamos Energetika Tanszék

Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

cselko.richard@vet.bme.hu

Öregedésmenedzsment

- Mi az, hogy öregedés?
- Asset management definíció
- Minek az öregedését menedzseljük?
 - 3651km átviteli hálózati távvezeték
 - 30 átviteli hálózati alállomás
 - 6359km 120kV
 - ~70000km 1-35kV
 - ~85000km <1kV
- Lehetséges megközelítések
 - down-top: eszköz szintű megfigyelésekből döntünk
 - top-down: rendszer szintű megfigyelésekből döntünk

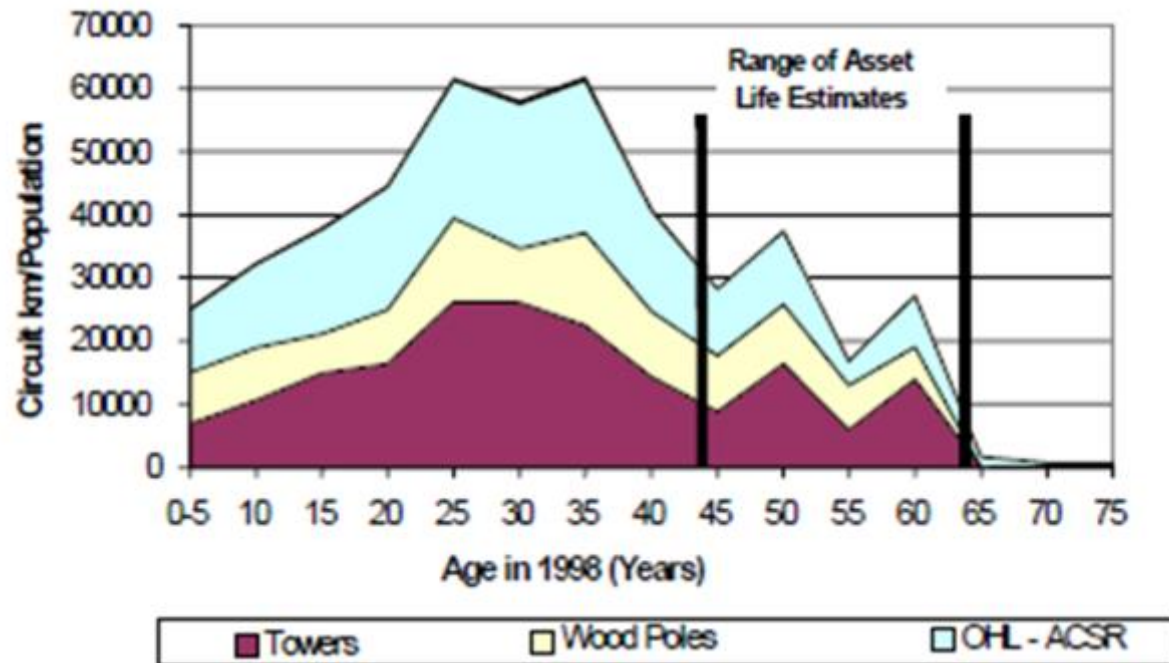


Öregedésmenedzsment

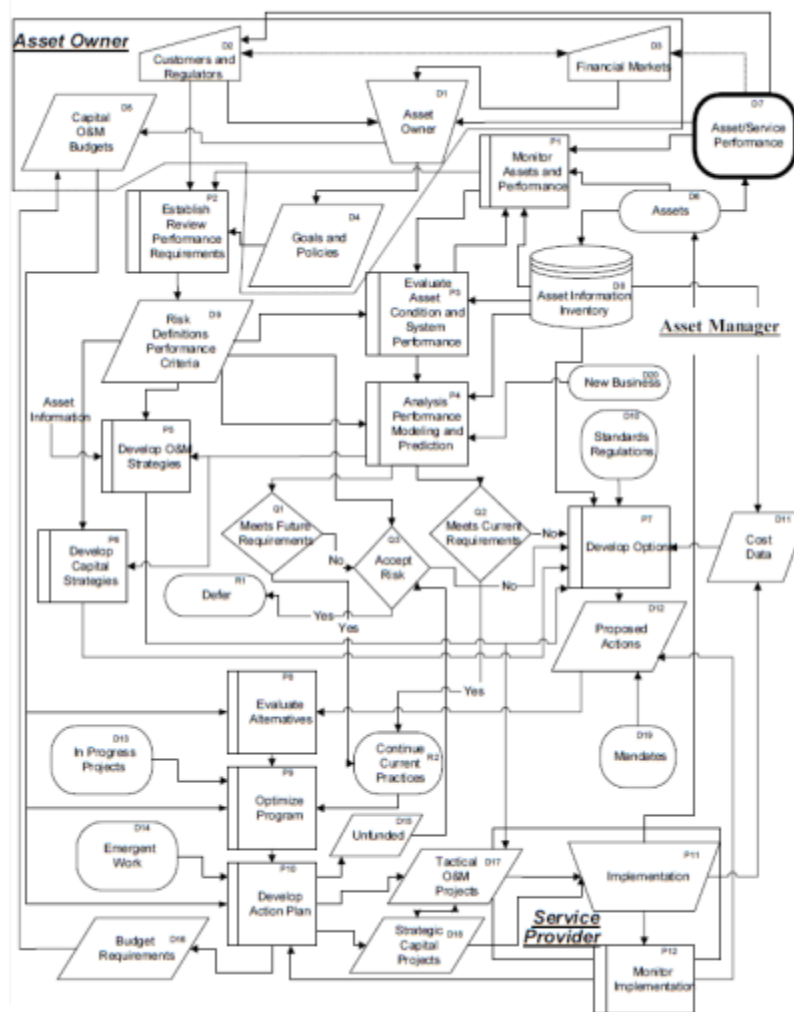
- Mit támogatunk? Mit is jelent, hogy menedzselünk? Miről döntünk?
 - Lehetséges stratégiák és beavatkozások:
 - új beruházás
 - csere
 - felújítás
 - karbantartás
 - üzemben hagyás beavatkozás nélkül
 - Feladat: kiválasztani a céljainknak leginkább megfelelő mixet

Öregedésmenedzsment

- Gyakorlati helyzet: a DSO-k és TSO-k nagy része a közelmúltban kezdett tényleges és részletes hibastatisztika és állapotadat gyűjtésbe
- Ennek oka:



Öregedésmenedzsmment



Tartalom

- Mit várunk el a jövő hálózatától?
- Top-down megközelítés:
 - statisztikai hibaelemzés
- Down-top megközelítés
 - diagnosztika és célja
 - online és offline diagnosztika
 - példa: kábeldiagnosztika
 - példa: közép feszültségű szabadvezetéki hálózat
 - példa: transzformátorok

BEVEZETÉS

Mit várunk el a jövő hálózatától és hogyan üzemeltessük?



Eszköz szint és rendszerszint

- Miért fontos, mik a célok?
- Hogy lesz egységes és teljes a megközelítés?
- Az asset management definíciója
- A jövő hálózatának célkitűzései
- Az eszköz szint szerepe a jövő hálózatában
- Milyen eszköz szintű módszerekkel aknázhatók ki az előnyök?

Az asset management definíciója

- Az asset management célja
 - Egy teljes eszközcsoportra az elvárt megbízhatósági szint figyelembe vételével meghatározni a szükséges ráfordításokat és ezen belül meghatározni a karbantartások és beruházások hosszútávon fenntartható egyensúlyát
- Egymásnak ellentmondó szándékok
 - Költségek (eszközök, csere, karbantartás)
 - Hatékonyság, megbízhatóság, biztonság
 - Kockázatok (meghibásodások)

A jövő hálózata

- Többféle lehetséges út, általánosan smart gridként definiáljuk
- A modern infokommunikációs technológiákban rejlő lehetőségek kiaknázásával a jövő hálózatának kiépítése
 - Gazdaságos
 - Környezetkímélő
 - Fenntartható
 - Megbízható
 - Öngyógyító képesség
 - Javuló energiaminőséget biztosít
 - Megújulók integrálására alkalmas
 - Fogyasztói befolyásolásra alkalmas
 - Energiapiac kezelésére alkalmas
 - ...

A jövő hálózata

- Smart grid-re általában rendszerszinten gondolunk
- Ugyanakkor a legtöbb szempont közvetlenül vagy közvetetten tartalmaz eszköz szintű elvárásokat
- Ennek megfelelően az eszközgazdálkodás megkerülhetetlen
- Miért nem elég a rendszerszintű megközelítés smart grideknél?
 - Mindig ott van mögötte a fizika...
 - Kidőlt oszlopon a self-healing sem tud energiát szállítani



Az eszközzint szerepe a jövő hálózatában

- Hogyan és mit lehet eszköz szinten, eszközgazdálkodási módszerekkel hozzá tenni a jövő energiahálózatához?
 - Gazdaságos:
 - Csak költséghatékonyan üzemeltethető elemekből lehet elképzelni
 - A rendelkezésre álló információk segíthetnek a kihasználtság vagy az élettartamra vonatkozó költségek megállapításában
 - Környezetkímélő
 - Növényi olajok, biológiai úton lebomló szigeteléseket tartalmazó vagy SF₆-mentes berendezések felvétele az eszközstratégiába
 - Fenntartható
 - Műszaki fenntarthatóság
 - Gazdasági fenntarthatóság
 - Környezeti fenntarthatóság
 - Megbízható
 - Karbantartás menedzselési módszerek, avultatás kezelése
 - Különleges körülményeknek is ellenálló berendezések (pl. nanobevonat a sodronyokon, ami megakadályozza a jég lerakódását)

Az eszközsztint szerepe a jövő hálózatában

- Hogyan és mit lehet eszköz szinten, eszközgazdálkodási módszerekkel hozzá tenni a jövő energiahálózatához?
 - Öngyógyító képesség
 - Olyan eszközök (pl. TMOK, recloser) kiválasztása, amelyek ezt lehetővé teszik rendszerszinten
 - Olyan megoldások alkalmazása, amelyeknek köszönhetően fizikailag regenerálódnak pl. szigetelések
 - Javuló energiaminőség
 - Jobb állapotú, megfelelően méretezett hálózat kevésbé van kitéve pl. feszültségletöréseknek
 - Az új és részletes információk alapján kizárni az igényeknek nem megfelelő megoldásokat
 - Megújulók integrálására alkalmas
 - Néha hirtelen nagymennyiségű energia szállítása: Állapotinformációk bevonásával az üzemeltetésbe meg tudom mondani, hogy melyik hálózati elemeket lehet adott esetben túlterhelni (DLR)

Az eszközzint szerepe a jövő hálózatában

- Elég-e az infokommunikációs technikák kiterjedt alkalmazása?
 - A rendszerek, a kialakítás költségeit is figyelembe véve minimalizáljunk (előzetes modellek ehhez is kellenek)
 - Fogyasztói elégedettségre gyakorolt hatás nélkül mit sem érünk
 - Példa: 1980-as években már USA-ban elkezdtek ún. „smart alállomásokat” építeni
 - Rengeteg valós idejű adatgyűtés
 - Részletes kiesési statisztika
 - Hőmérséklet mérések stb.
 - MÉGIS: miután beleöltek rengeteg pénzt és időt, rájöttek, hogy gyakorlatilag a felhasználók számára, a szolgáltatás minősége tekintetében gyakorlatilag semmilyen hatás nem volt!
 - Ezzel sikerült bemutatni, hogy az, hogy smart, nem feltétlenül jelenti azt, hogy hatékony vagy optimális – valószínűleg ez a tapasztalat vezethetett oda, hogy a mai smart grid definíció tartalmazza a hatékonyságot

Az eszközszint szerepe a jövő hálózatában

- Interoperabilitás műszaki és vállalati rendszerek között
 - Smart grid és asset management is elképesztő mértékű infokommunikációs fejlesztéseket implikál
 - A duplikált funkciók elkerülése, a meglévő funkciók hatékony kihasználása érdekében elkerülhetetlen, hogy egy-egy rendszert, adatbázisokat, kommunikációs csatornákat több funkcióra is használjunk
- Önmagukban is költséghatékony módszerek alkalmazása állapotértékelésre
 - Ne kelljen többet költeni diagnosztikára, állapotfelmérésre
 - Használjuk ki, hogy több adat van

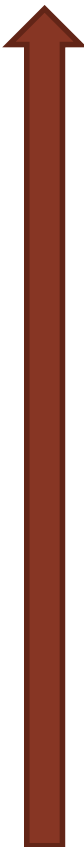
Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- Adatgyűjtés, adatbányászat
 - Weibull-eloszlást követő meghibásodásokhoz görbét illesztünk és előre jelezzük a meghibásodások számát
- Hatékonyabb és Online diagnosztika
 - A fontos kábelszakaszokon online részletörés mérés
 - Trafókon online diagnosztika
 - Elosztóhálózati transzformátorok: diagnosztika általában nem, online diagnosztika különösen felesleges lehet, viszont ha már van kommunikáció, akkor az egyik legnagyobb probléma az olajlopás könnyebben felderíthető
 - Asset health segíthet azon döntések megalapozásában, hogy hova kell esetleg tartalék ellátási lehetőséget kiépíteni, hova érdemes pl. self-healing rendszereket kiépíteni
 - → arra számíthatunk, hogy nem egyszerre, teljes hálózatok tekintetében fog megvalósulni a smart grid kiépítés

Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- Állapotinformációk kihasználása

<p>Döntéstámogató rendszer a beavatkozások optimalizálásához (fenntartható, költséghatékony stratégia kialakítása)</p>	<p>Modellszintű ismeretek az eszköz állapotokról és a beavatkozásokról, pénzügyi optimalizálási ismeretek</p>
<p>Szakértői rendszer a berendezésről ismert adatokból, mérési eredményekből az állapot megállapításához</p>	<p>Komplex műszaki ismeretek a berendezésről</p>
<p>Adott mérés kiértékelése</p>	<p>Műszaki ismeretek az adott módszer alkalmazásáról a konkrét berendezésre</p>
<p>Fizikai mérések</p>	<p>Méréstechnikai ismeretek</p>

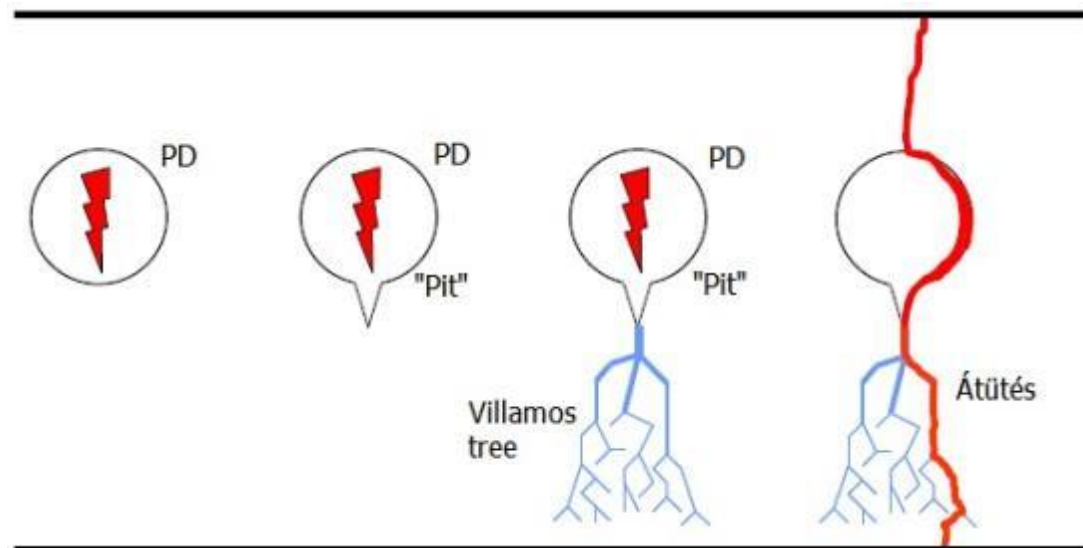


Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- A kommunikáció, online diagnosztika sokkal jobb diagnosztikai lehetőségeket nyújt:
 - Az, hogy van 25 pC nagyságú részletörés egy kábelben, az még önmagában olyan túl sokat nem mond, ennyivel akár évekig is üzemelhet
 - Ugyanakkor ha tegnapelőtt 10 pC volt, tegnap 15 pC ma pedig 25 pC, akkor még üzemzavar előtt kiveszem üzemből és kimegyek egy részletesebb diagnosztikára
 - DE: emögött is ott kell lennie a fizikai modellnek
 - Mi van, ha tegnapelőtt 10 pC volt, tegnap 10,5 pC, ma pedig 10,8 pC? Ez már probléma? Ha igen, akkor mennyi időn belül?
 - Ehhez ismerni kell azt, hogy részletörésből hogyan lesz átütés
 - Tudni kell, hogy a részletörés pl. HFCT sávszélsségek esetén értelmezhető-e pC-ban? (nem, a mV kezd terjedni; de kell érteni a mögöttes fizikát, hogy értelmezni tudjuk)

Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- Ahhoz, hogy valóban előny legyen az információ rendelkezésre állása, ismerni kell a mögöttes folyamatokat
- Konkrét példa: kábelek online részleges kisülés mérése
 - Ahhoz, hogy asset döntésekhez tudjuk használni a rendelkezésre álló mérési eredményeket, ismernünk kell a mögöttes fizikai folyamatokat
 - Üregkisülés átmenete átütésbe:
 - Először csak kisülés
 - Aztán kialakul egy „akna” (pitting)
 - Ebből indul ki a villamos tree
 - Ettől a ponttól tud nagyon gyorsan átütésbe átmenni a folyamat



Eszköz szintű és rendszer szintű fejlesztések

- Mind a Smart Grid, mind az Asset Management komplex fogalmak, a hatékony kialakításukhoz komoly fizikai, kutatói háttérre van szükség
- Önmagában az, hogy van adat és van kommunikáció, semmit sem fog megoldani
- Mind az SG, mind az AM a teljes vállalati működést átfogó, nagy volumenű projektek keretében kerülhet kialakításra
 - Költséghatékony és műszakilag jól teljesítő rendszerek kiépítése érdekében legfelső szintű koordinációt igényelnek

Eszköz szintű és rendszer szintű fejlesztések

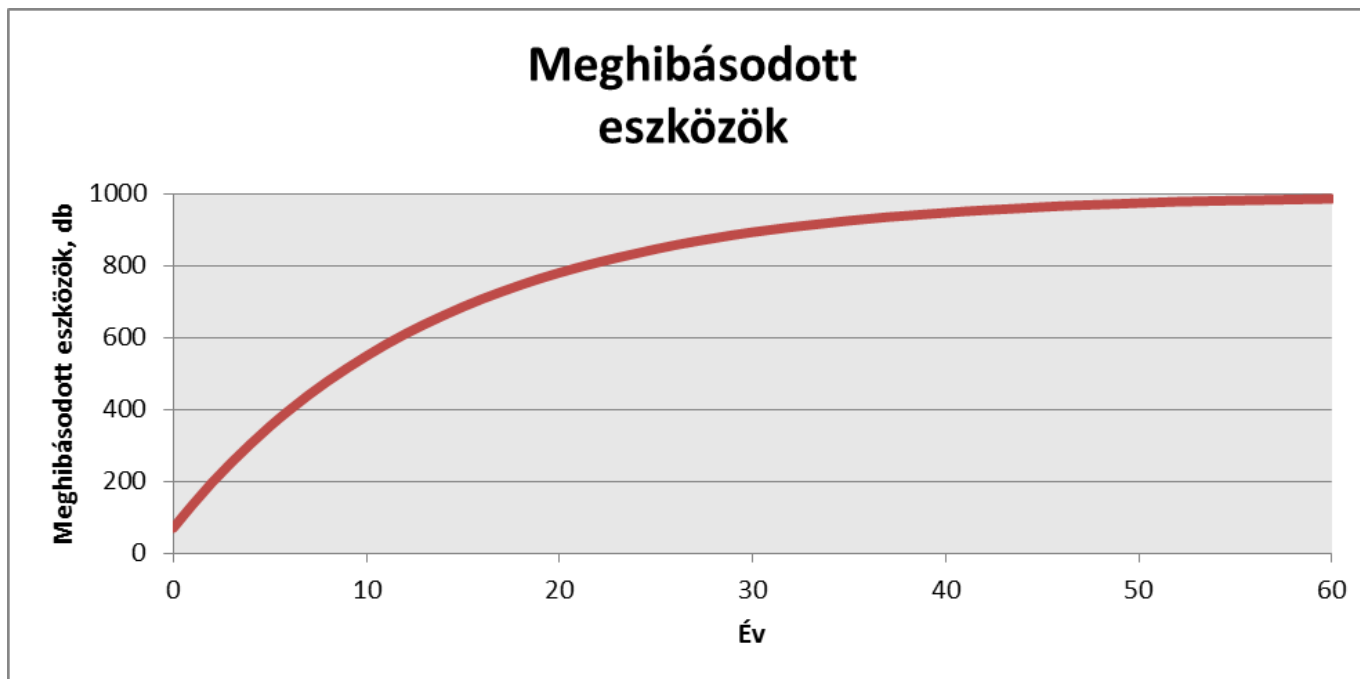
- Eddig elszeparáltan működő területek sokkal összehangoltabban tudnak majd működni
- Nem csak az a nyereség, hogy sok adat fog rendelkezésre állítani, hanem a vállalati működést is át fogja formálni
- Asset management a jövő hálózatán
 - Öregedő hálózatok kezelése
 - Növekvő és komplexebb elvárások
 - A valódi cél egy optimális rendszer kiépítése, ami egyensúlyoz a műszaki hatékonyság, fogyasztói elégedettség és a vállalat üzleti sikere között

TOP-DOWN MEGKÖZELÍTÉS

Rendszerszintű információkból eszköz szintű döntések
Hogyan látszik meg a rendszer viselkedésén az
öregedés?

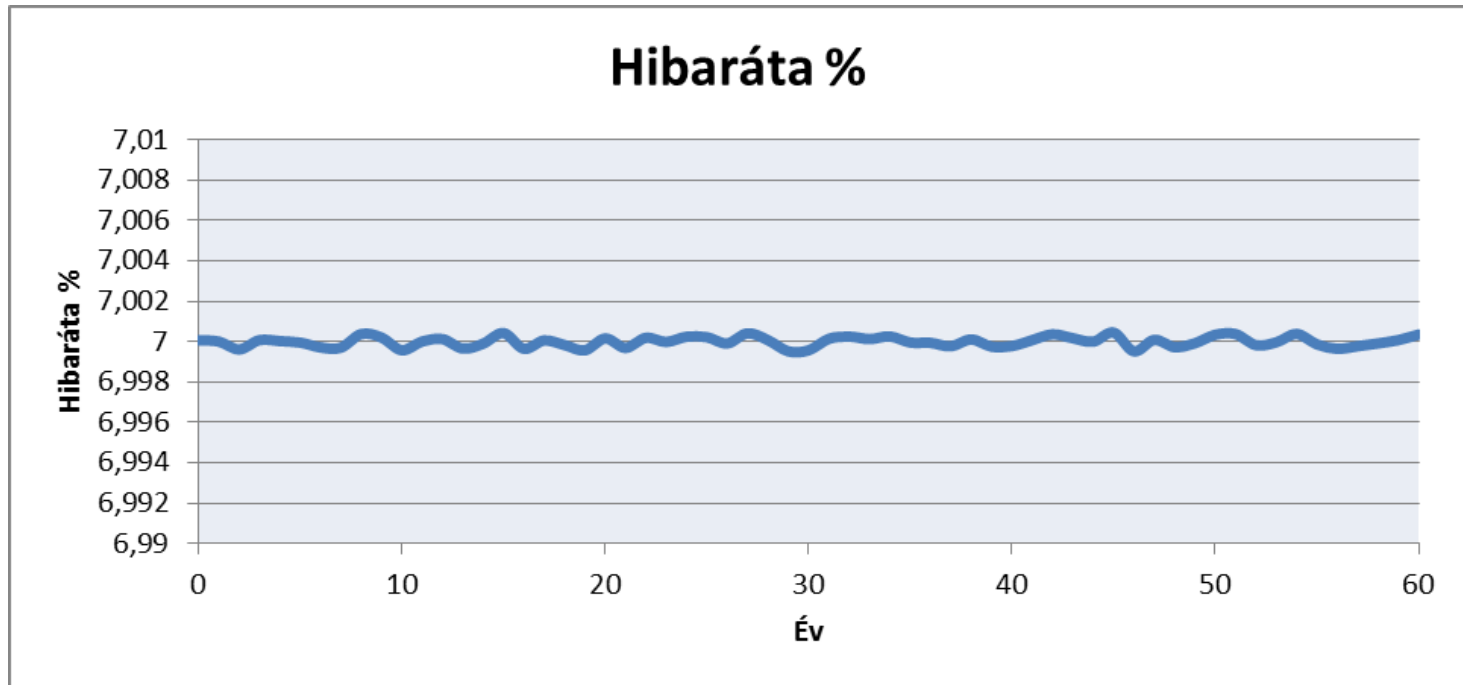
Közvéleménykutatás

- Alábbi hibastatisztika szerintetek öregedő rendszert mutat?

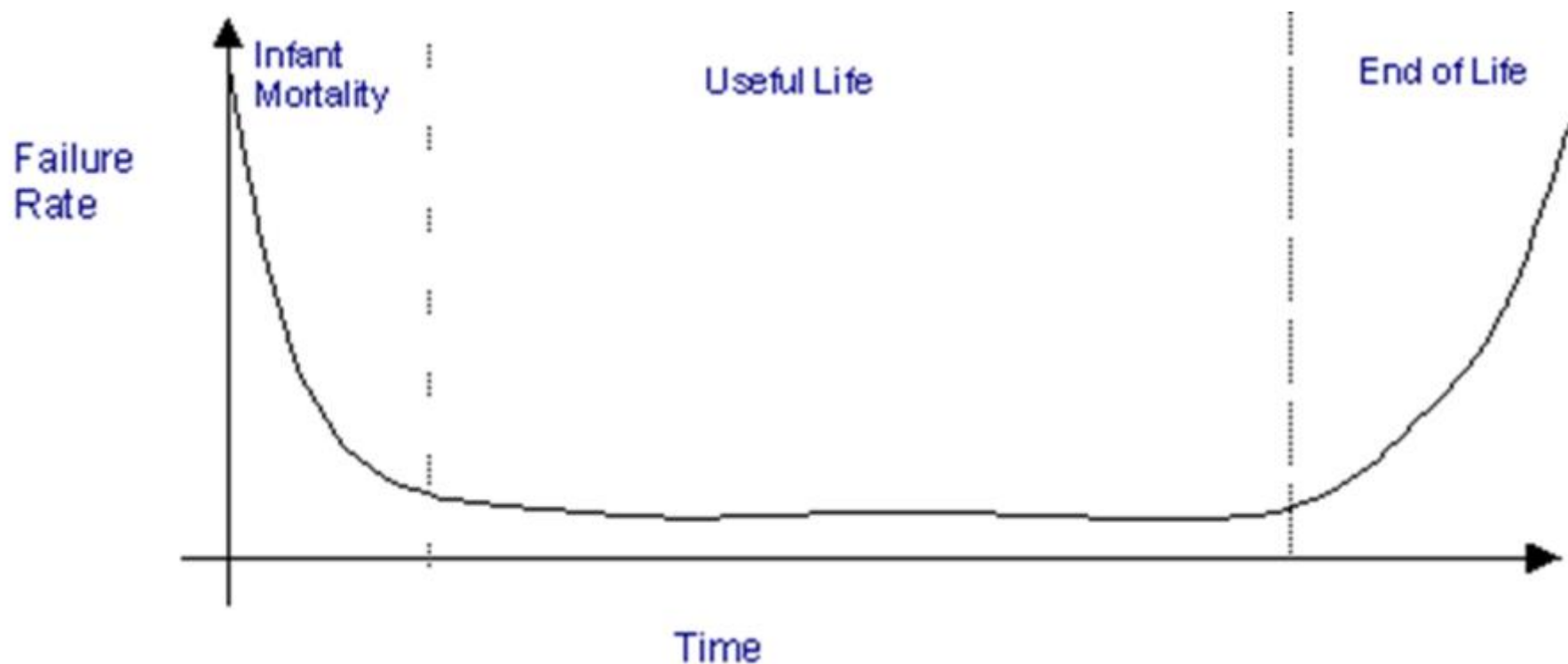


Közvéleménykutatás

- Alábbi hibastatisztika szerintetek öregedő rendszert mutat?
- Ez a hibarátaja (évről-évre hány % hibásodik meg):

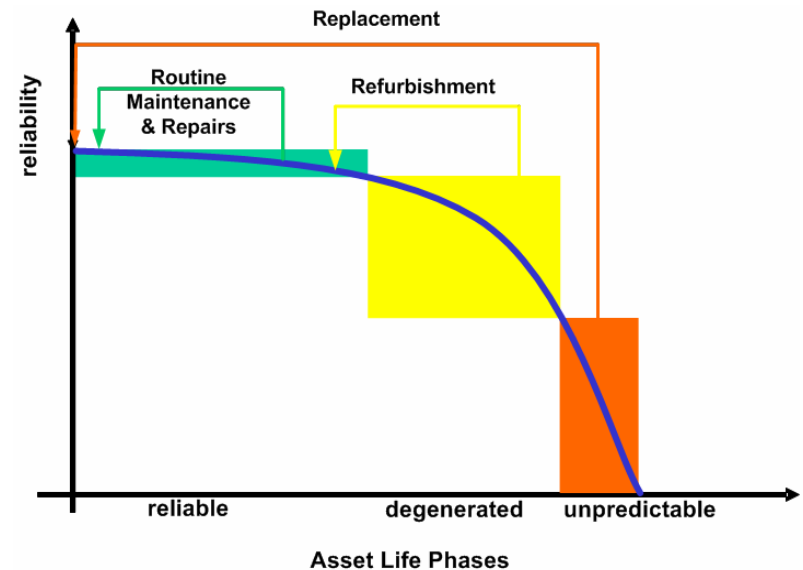


Statisztikai hibaelemzés



Statisztikai hibaelemzés célja

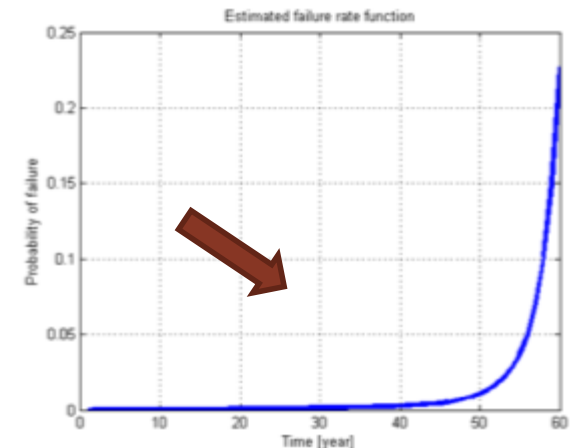
- Előrejelzés által segíteni a rövid, közép és hosszú távú karbantartás és beruházás tervezést
 - Mennyi eszközön?
 - Milyen beavatkozást hajtsunk végre?
 - Nincs beavatkozás
 - Karbantartás
 - Felújítás
 - Csere
- Nagy számban üzemeltetett eszközök esetében alkalmazható



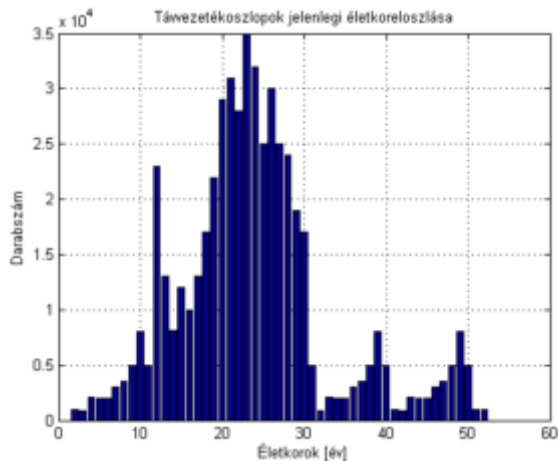
CIGRÉ Working Group C1.1: Asset management of transmission system and associated Cigre activities, 2006

Statisztikai hibaelemzés célja

- Felülről lefelé megközelítés, nem a konkrét esetek érdeklik, hanem egy populáció viselkedése
- Nem (alap)célja kijelölni a konkrét eszközt, amin beavatkozást kell végre hajtani
 - Állapotfelmérés (diagnosztika, szemrevételezés)
 - Korreláció bizonyos tényezőkkel
- Mit nyerhetünk vele?
 - Optimális pillanatban megindított sorcserék
 - Szűk keretek között a fontosabb beavatkozások kiválasztása
 - Üzembiztonsági tartalékok, cserealkatrész igények pontos előrejelezhetősége

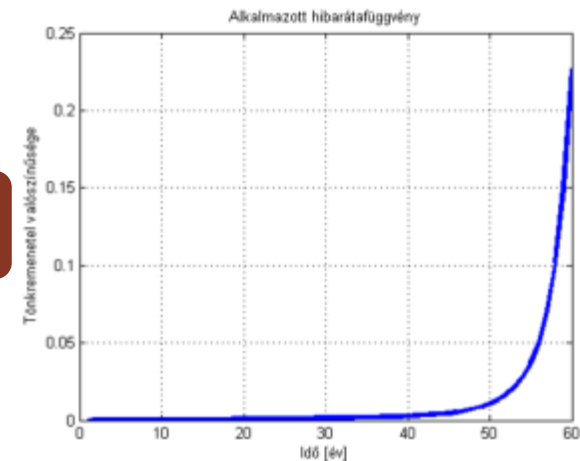


Statisztikai hibaelemzés – hogyan?

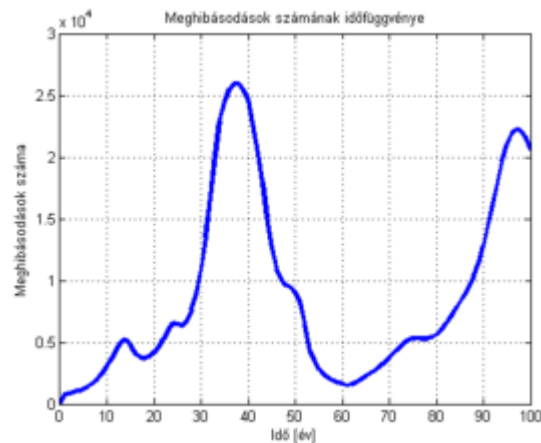


Berendezések korának eloszlása

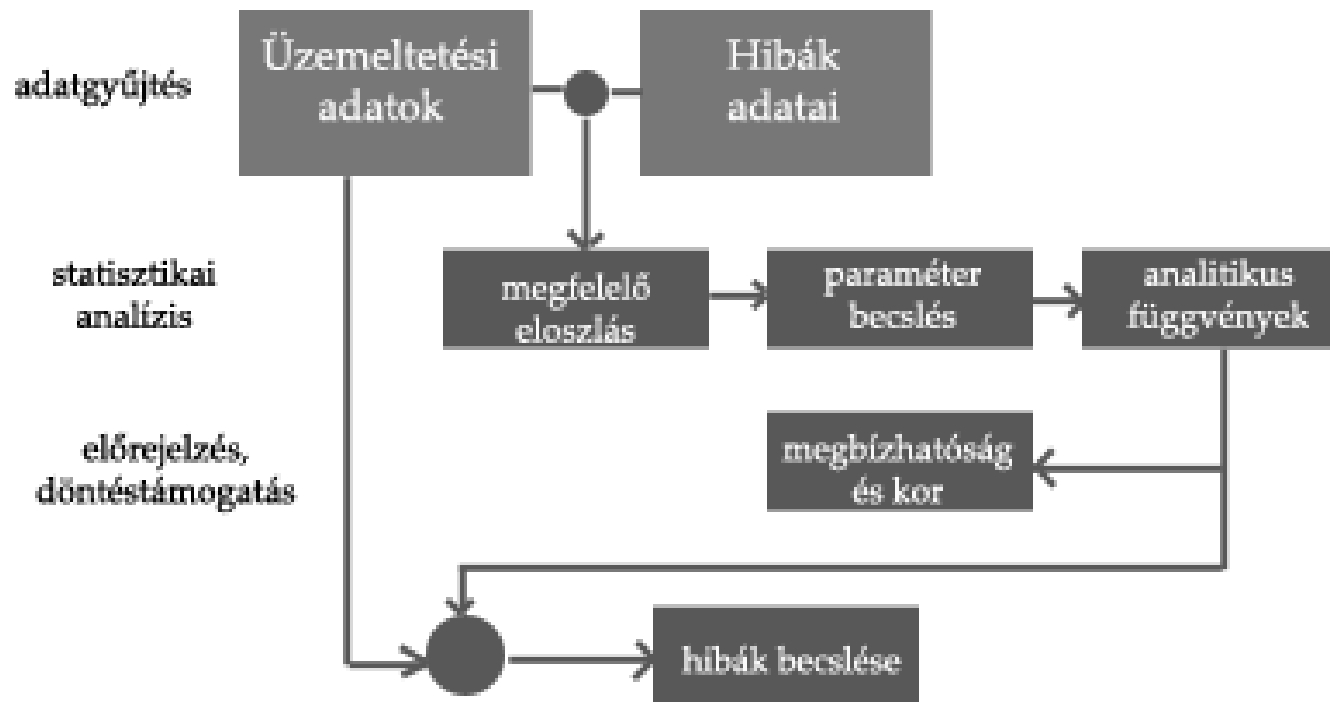
Hibaráta a berendezése korának függvényében



Meghibásodások számának előrejelzése



Statisztikai hibaelemzés – hogyan?



Statisztikai hibaelemzés alapjai

- Lépések:
 - Adatgyűjtés
 - Megfelelő eloszlás kiválasztása
 - Görbeillesztés, predikció
- Adatgyűjtés
 - Adatbázis felépítése az eszközállományról: típus, kor stb.
 - Meghibásodások rögzítése
 - Pontosan mit értünk itt alatta?
 - Milyen részletességgel kell rögzíteni?

Meghibásodásig eltelt idő [óra]	Hiba sorszáma
16	1
34	2
53	3
75	4
93	5
120	6

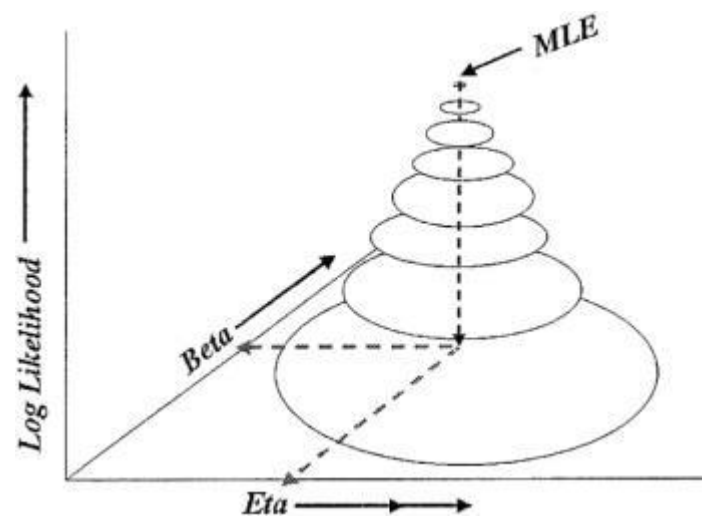
Statisztikai hibaelemzés alapjai

- Alkalmazható eloszlások, modellek
 - Hány öregedési folyamat van? Van-e domináns?
 - Poisson eloszlás: kortól független meghibásodások
 - Weibull eloszlás: akkor alkalmazható, ha van domináns hibamód
 - Crow AMSAA: több hibamódra is működik, de nagy mennyiségű bemenő adatra van szüksége
 - Cox féle arányos kockázati faktorok és hibamódok közötti összefüggést tudja feltárni
- Milyen görbeillesztési módszert alkalmazunk?
 - Maximum valószínűség becslés (maximum likelihood method)
 - Rang mediánja (median rank)
 - Grafikus görbeillesztés

Görbeillesztési módszerek

Maximum Likelihood Estimation

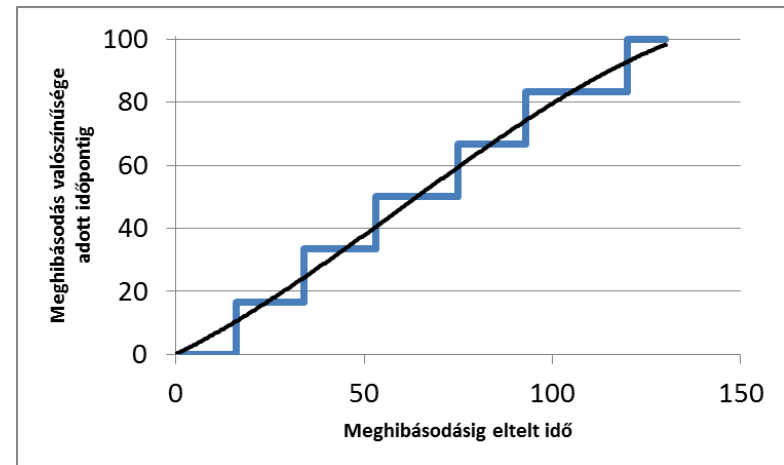
- A módszer célja, hogy egy ismert valószínűségi modell paramétereit megállapítsa
- Alapelve szerint azokat a paramétereket adja ki, amelyekkel a lehető legnagyobb valószínűsége van annak, hogy a gyakorlatban kapott mintasor adódjon
- Kivitelezése: az ún. likelihood function maximalizálásával – ez jelképezi a modell és a megfigyelések közötti összhangot
- Weibull-eloszlás esetén két paraméterről, a skála és az alakparaméterről van szó
- Ennek megfelelően e két paraméter függvényében igyekszik a likelihood függvényt maximalizálni



Dr. Robert B. Abernethy: The new Weibull handbook

Görbeillesztési módszerek: Median Rank Becslés

- Mit próbál megfogni?
 - Az igazi eloszlásfüggvény nem mérhető, mert véges számú mintából számolunk, véges időtartamból
 - Akkor kell alkalmazni, ha viszonylag kevés meghibásodási adat áll rendelkezésre (<100)
- Egyszerű számítási mód:
 - $MR \sim \frac{i-0,3}{N+0,4}$
- Számos összetettebb számítási mód is létezik



Meghibásodásig eltelt idő [óra]	Medián rang %	„Lépcsős” megközelítés
16	10,91	16,67
34	26,44	33,33
53	42,14	50
75	57,86	66,66
93	73,56	83,33
120	89,1	100

Görbeillesztési módszerek

Grafikus görbeillesztés (Weibull-plot)

- A kétparaméteres Weibull-eloszlás sűrűségfüggvénye:

- $f(t) = \frac{k}{\lambda} \left[\frac{t}{\lambda} \right]^{k-1} e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^k}$, ha $t \geq 0$ és $f(t) = 0$, ha $t < 0$

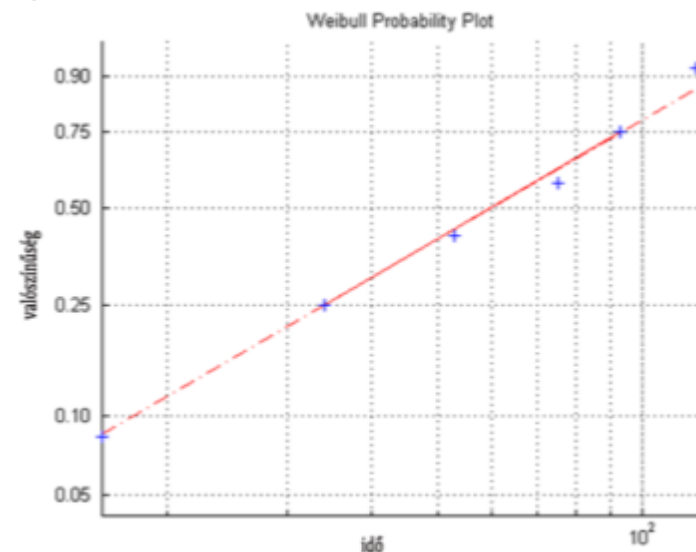
- Olyan transzformált koordinátarendszer, amiben a Weibull-eloszlást egyenes reprezentálja

- $\hat{F}(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$

- $-\ln(1 - \hat{F}(x)) = \left(\frac{x}{\lambda}\right)^k$

- $\ln(-\ln(1 - \hat{F}(x))) = k \ln x - k \ln \lambda$

- $y = mx - c$



Görbeillesztési módszerek

Grafikus görbeillesztés (Weibull-plot)

- A két

- $f(t)$:

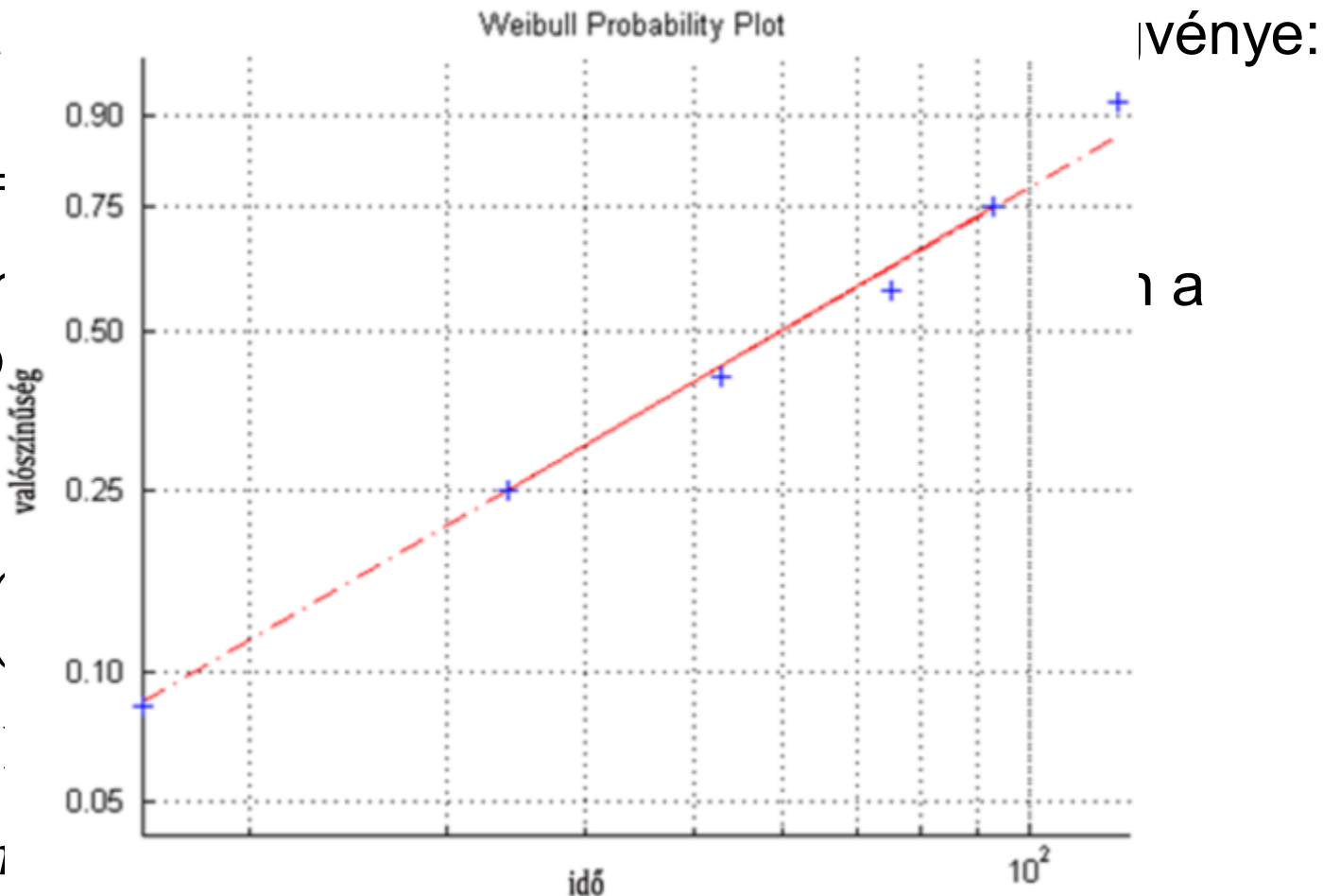
- Olyan Weib

- $\hat{F}(x)$

- $-\ln(\dots)$

- $\ln(-\dots)$

- $y = n$

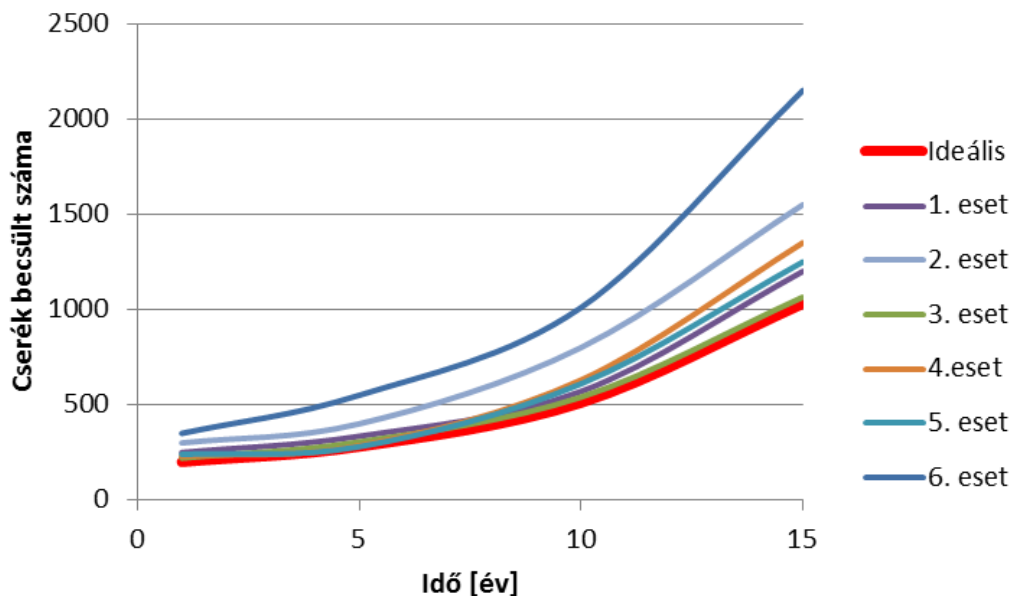


A statisztikai hibaelemzés nehézségei

- Nem megfelelően ismert vagy túl összetett öregedési folyamatok
 - Nem biztosított a megfelelő eloszlás kiválasztása
 - Probléma: a matematikai eljárások ennek ellenére végre hajthatók, de a becslés pontossága megkérdőjelezhető lesz!
- Meghibásodott berendezések kora hiányzik
- Hiányzó, pontatlan koreloszlás
- Külső hatások („suspension”) nem különülnek el

Hiányzó korok meghibásodáskor

- Nincs pontos kor → szakértői tudással helyettesítsük
- Típus, technológia, gyártmány alapján intervallum becslés, hogy mikor kerülhetett üzembe az adott eszköz
- Szimuláció 1 millió darabos populációra

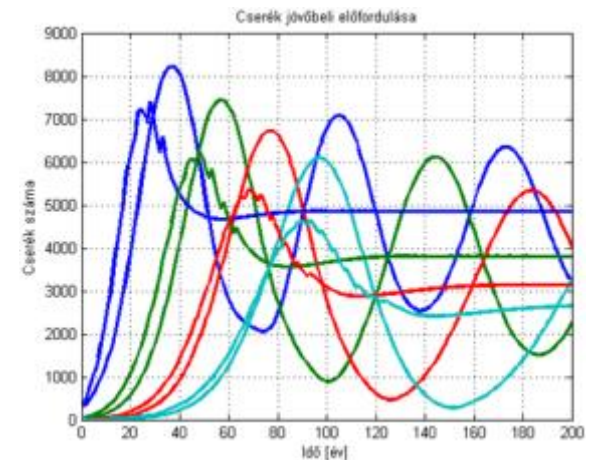
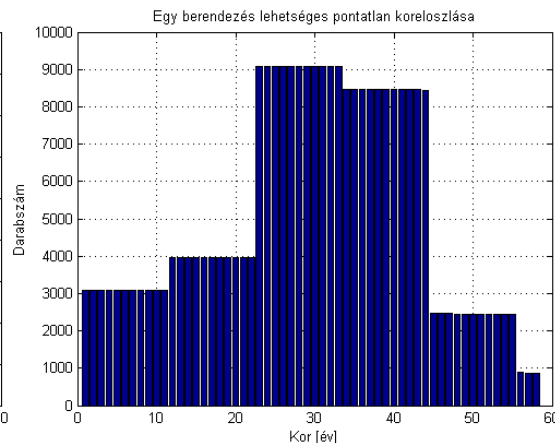
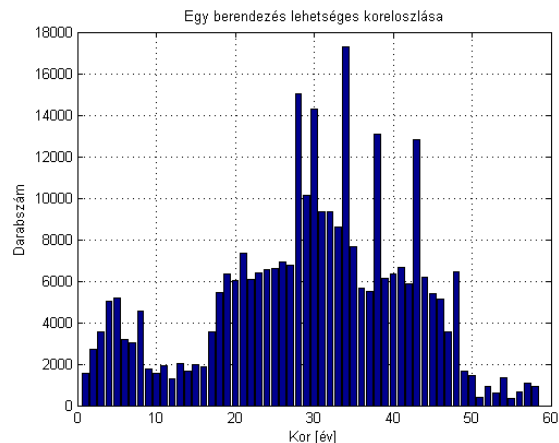


Eset száma	Kor	Tévedési intervallum
1.	becsült	+/- 5 év
2.	becsült	+/- 10 év
3.	50% becsült	+/- 10 év
4.	25% becsült	+/- 10 év
5.	50% becsült	+ 15 év
6.	50% becsült	- 15 év

Fazekas Tibor: Adathiány kezelése az öregedő villamosenergia-rendszer élettartam analizise során, 2013

Hiányzó, pontatlan koreloszlás

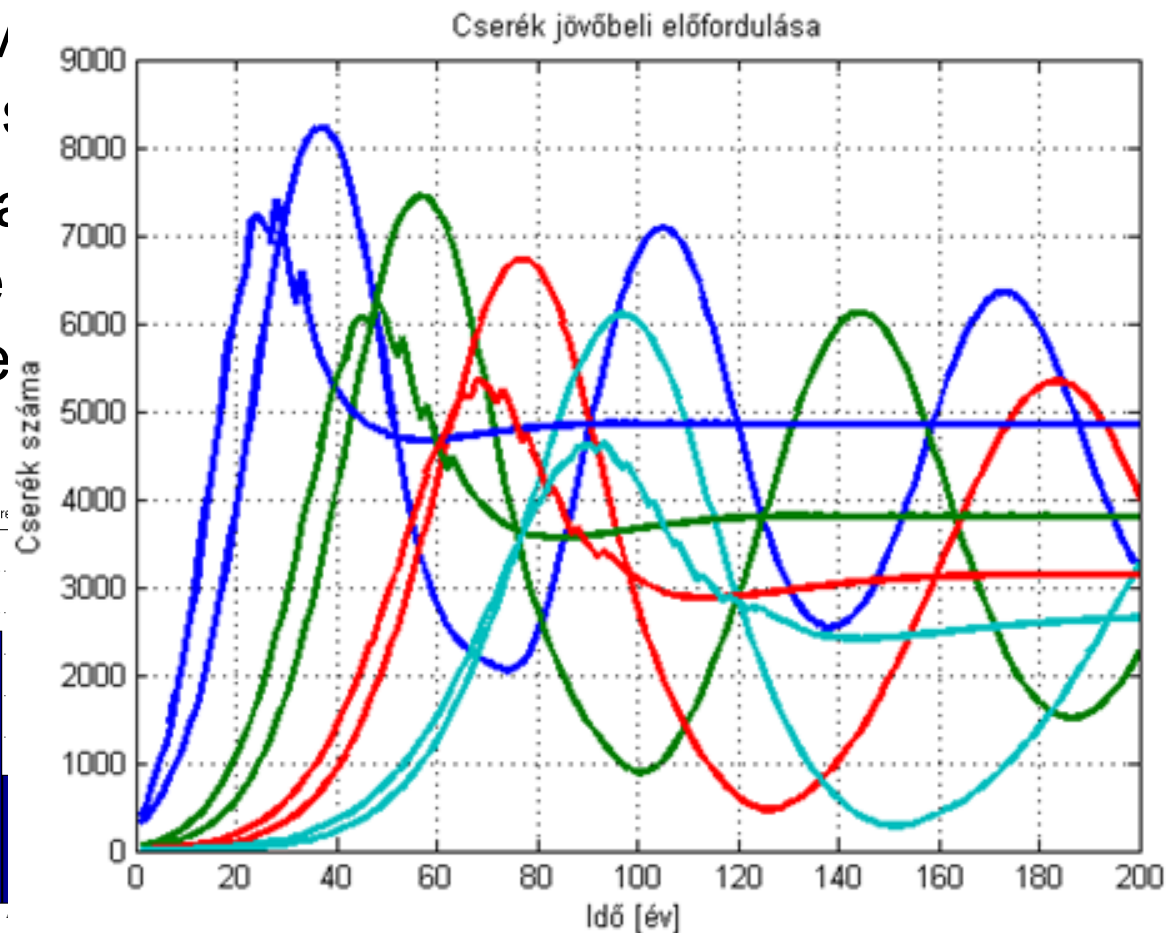
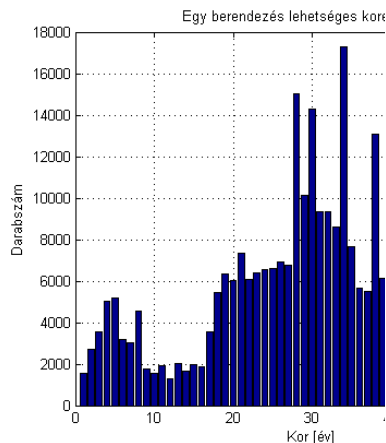
- Cserék jövőbeli előfordulása pontos és pontatlan koreloszlás esetén változtatott skála paraméterrel
- Kiemelve a számunkra fontos szakaszt elmondható, hogy az első néhány éves viszonylag pontos eredmények után nagyobb eltéréseket kapunk



Fazekas Tibor: Adathiány kezelése az öregedő villamosenergia-rendszer élettartam analizise során, 2013

Hiányzó, pontatlan koreloszlás

- Cserék jövőbeli koreloszlás
- Kiemelve az első négy legnagyobb e



, hogy
k után

Fazekas Tibor: Adathiány kezelése az öregedő villamosenergia-rendszer élettartam analizise során, 2013

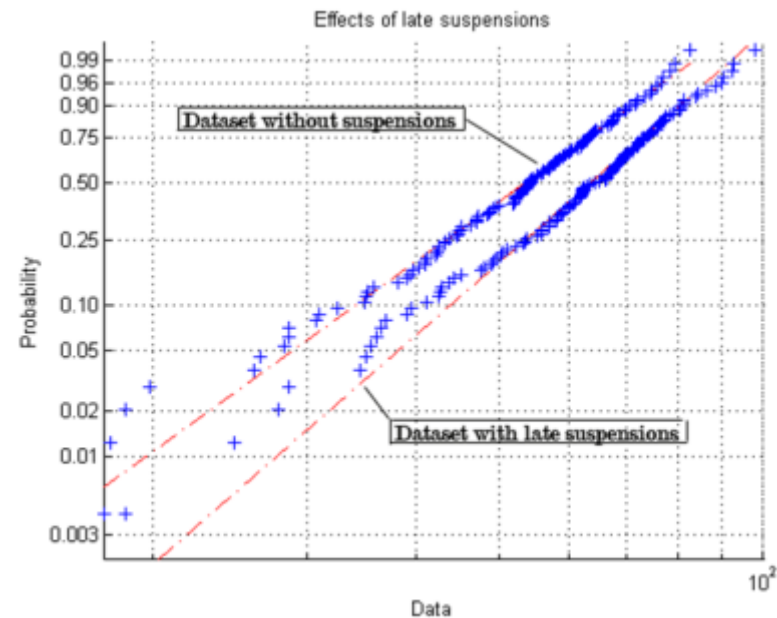
A kombájn nem tudja a matekot!

- A hibastatisztikának meg kell felelnie egy fontos kritériumnak: el kell tudni különíteni a külső, véletlen behatásból eredő meghibásodásokat („suspension”) a ténylegesen meghibásodott („failed”) elemektől



A kombájn nem tudja a matekot!

- Early suspension:
 - Ha az élettartam elején következnek be
 - Nem rontják el az eloszlás paramétereinek becsült értékét
- Late suspension:
 - Az élettartam öregedési szakaszában bekövetkező véletlen hibák
 - Eltolják a Weibull egyenest, így a Weibull eloszlás skála paraméterét nagyban befolyásolják.
- Szerencsés helyzet, mert a korai, régebbi hiányos adatbázis kevésbé van negatív hatással a becslés pontosságára

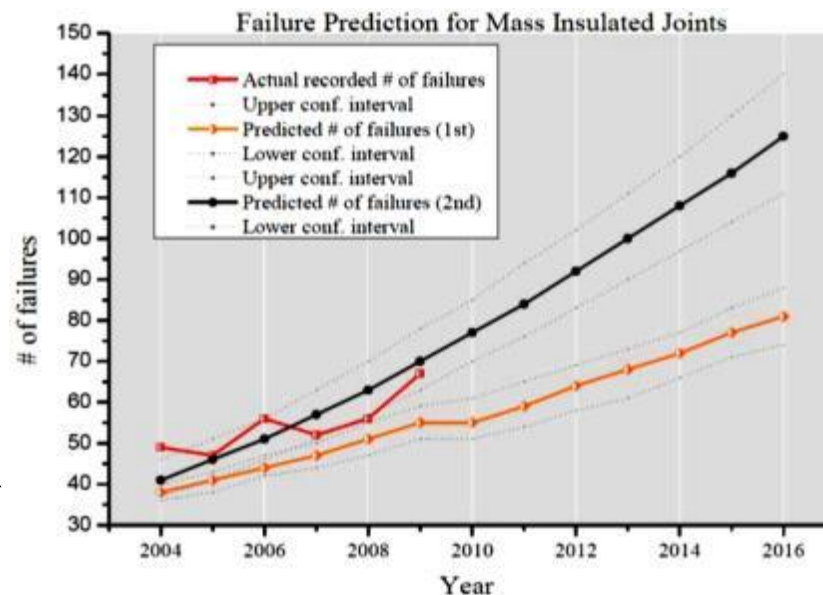


További nehézségek említés szintjén

- **Eltérő időszakokban eltérő karbantartási stratégiák**
 - A karbantartásoknak egyértelműen meghibásodás megelőző funkciójuk van, tehát jelentős a befolyásuk a vizsgált adatokra
- **Karbantartással megelőzött „majdnem hibák”**
 - Nem a konkrét hibaesemény az igazán érdekes, hanem az, hogy van-e olyan állapotú berendezés a hálózaton, amit mindenképpen cserélni kell
- **Alkomponensek külön - kábel és szerelvény nem keverhető össze**
 - Ha túl egyszerűsített a hibastatisztika
- **Kilógó elemek („outliers”)**
 - Egy-egy nem jellemző folyamat eredményeként születhet és elronthatja a becslés pontosságát

Esettanulmány – olajos kábelösszekötők

- Összekötők 60%-ának a kora nem ismert
 - 1. becslés: nem ismert korú eszközök elosztása egyenletesen a kategóriák között
 - 2. becslés: szakértői tudással kiegészített becslés, a valósághoz vélhetően közelebbi koreloszlás alkalmazása
- A becslés 90%-os konfidencia intervallumán belüli eredmények adódtak hibaszám tekintetében
- Validáció: múltbeli adatok alapján



Ravish P.Y. Mehairjan, Dhiradj Djairam, Qikai Zhuang, Johan J. Smit, Arjan M. van Voorden: Statistical Approach to Establish Failure Behaviour on Incomplete Asset Lifetime Data

A statisztikai hibaelemzés

- Statisztikai hibaanalízis alkalmazható sikeresen, de lépéseket kell tenni a buktatók elkerülésére
- „Big data” igazi alkalmazhatóságához a „Dirty data” alkalmazhatósága kell
 - Ehhez nagyban hozzájárul, ha a „favágó” matematikai módszereket kiegészítjük szakértői tudással és megtanuljuk az együttes alkalmazásukat
- További olvasnivaló:
 - CIGRÉ WG D1.39: Guidelines for the Use of Statistics and Statistical Tools on Life Data
 - IEEE 930-2004 (IEC 62539:2007) „Guide for the Statistical Analysis of Electrical Insulation Breakdown Data”

Köszönöm a figyelmet!

BME Nagyfeszültségű Laboratórium
Cselkó Richárd
cselko.richard@vet.bme.hu