

Kézi szenzoros rezgésmérés bizonytalansági prioritásainak vizsgálata hibafa analízissel

Dr. Szabó József Zoltán*, Dr. Bakucz Péter Pál**

*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.
(Tel: +36-30-933-7479; e-mail: szabo.jozsef@bgk.uni-obuda.hu).

**Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.
(e-mail: bakucz.peter@bgk.uni-obuda.hu)

Abstract: A forgó gépek diagnosztikájában gyakran alkalmazzák a kézi szenzorral történő rezgésmérést. Az eredmények azonban helytelenek lehetnek, ha kézi szenzorszondát nem megfelelő módon használják. Ennek oka a bizonytalanság, amelyet a mérőerő és a mérési irány változása okoz. Ebben a dolgozatban a kézi vibrációs szondák használatának problémáit tárgyaljuk. Erre a célra az úgynevezett hibafa elemzést (FTA) használunk, amely egy felülről lefelé irányuló, deduktív hibaelemzés. A rezgőrendszer nem kívánt állapotát Boolean logika segítségével elemezzük, hogy egyesítsük az alacsonyabb szintű események sorozatát. A mérési bizonytalanság kezelése érdekében célszerű a fuzzyfikált adat- és matematikai műveleti struktúrákat használni. A pontos (fuzzy nélküli) eredmények nem mutatják a valós rendszerműveletek lényeges beállítását. A rezgés technikában korábban a Monte-Carlo (MC) módszert alkalmazták a bizonytalansági elemzéshez. Az MC módszer azonban nem nyújt információt a rendszer kritikus bizonytalanságáról és a dolgozatunk tárgyát képező alapvető paraméterek (alapesemények) prioritásairól. Ebben a dolgozatban egy online beágyazott algoritmust mutatunk be, amely bázisa egy iteratív módszer (kvázi Newton optimalizálás). Célja a tagsági függvény paramétereinek maximális valószínűségű becsléseinek meghatározása a fuzzy hibafa modellben, ahol a modell a vegyes top esemény tagsági függvényből indul. Az iteráció váltakozik egy várakozási lépés végrehajtása között, amely egy függvényt hoz létre a paraméterek aktuális becslésének felhasználásával kiértékelt log-valószínűség elvárásához, és egy maximalizálási lépést, amely kiszámítja azokat a paramétereket, amelyek maximalizálják az elvárasi lépésben talált várható log-valószínűséget. Ezeket a paraméterbecsléseket azután a látens változók eloszlásának meghatározására használják a következő várakozási lépésben. Ebben a dolgozatban az alapvető eseményprioritások meghatározását mutatjuk be először a klasszikus FTA cut set módszert, majd a fuzzy FTA segítségével ugyanazt a trapéz alakú tagsági funkciójú rendszert értékeljük.

1. BEVEZETŐ

Az ipari termelés folyamatos jellege fenntartható annak biztosításával, hogy a gyártóberendezések folyamatosan és megbízhatóan működjenek. A gépek működése során azonban gyakran előfordulnak mechanikai hibák, amelyek károsítják az alkatrészeket és lerövidítik azok élettartamát [6].

A hibafa elemzés (FTA) széles körben alkalmazott módszer a rendszer hibalogikájának elemzésére és az általános megbízhatóság kiszámítására. A hagyományos FTA alkalmazásának azonban vannak hiányosságai, pl. a bizonytalanságok kezelésében, lehetővé téve a nyelvi változók használatát, és beépítve az emberi hibákat a kudarc logikai modelljébe. Ezért homályos halmazelméletet javasoltak a hagyományos FTA korlátozásának leküzdésére. A fuzzy logika olyan keretet biztosít, amely segítségével hatékonyan modellezhetők olyan alapvető fogalmak, mint a hasonlóság, a bizonytalanság és a preferencia [7].

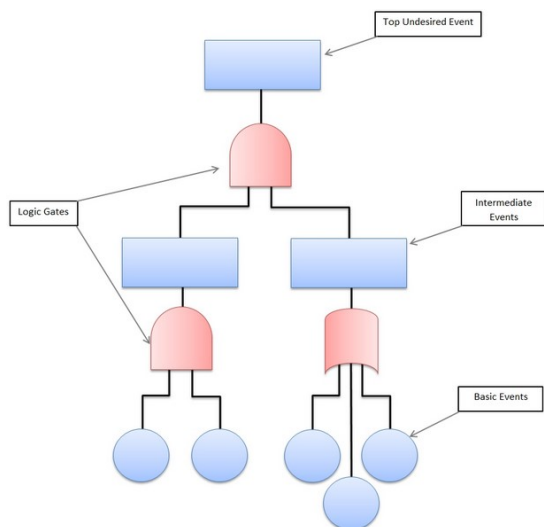
Az FTA alapvetően ok-okozati elemzés, és egy rendszerhibát „lefelé” nyomon követ egy vagy több hibára az alacsonyabb szinteken. Valójában az FTA egy deduktív eljárás mind az összetevők meghibásodása, mind az emberi hibák kombinációinak meghatározására, ami meghatározott nem kívánt események előfordulását eredményezheti rendszerszinten. A logikai diagram esemény- és logikai szimbólumok felhasználásával készül, amelyek levezetik a rendszer hibalogikáját, és olyan formában képviselik, amely ideális a menedzserekkel, tervezőkkel és üzemeltetőkkel való kommunikációhoz. Ha a meghibásodási arány és egyéb szükséges adatok rendelkezésre állnak az alapeseményekről, a hibafa elemzés becsléseket ad a nem kívánt események előfordulási gyakoriságáról. Az FTA alkalmazásának azonban vannak hiányosságai; homályos, pontos adatok hiánya és bizonytalanság. [9-11].

Az FTA-ban a figyelembe vett alapesemények általában hardverhibához kapcsolódnak. Azonban még egy nagyon automatizált rendszerben is az emberek a rendszer kulcsfontosságú elemei. Lee és munkatársai szerint az emberi

rendszerben való részvétel mértékétől függően az emberi komponens felelős a sok rendszer hibáinak 20–90% -áért. Az emberi teljesítmény kiszámíthatatlansága, valamint a rendszerjelenségek bizonytalansága következtében az ember – gép rendszer alapeseményei két kategóriába sorolhatók, az emberrel kapcsolatos szubjektív események és a valószínűségi objektív események közé. Így a hardverhibák valószínűségi becslésének és az emberi teljesítmény szubjektív értékelésének integrálása jelenti a hibrid rendszer elemzésének legfőbb gondját. Valójában az FTA-ban alkalmazott éles megközelítés nem képes közvetíteni az emberi teljesítmény pontatlanságát vagy homályos jellegét a rendszer modellezésében [12–21].

Ezenkívül a hagyományos FTA nem teszi lehetővé bizonyos fokú bizonytalanság kiosztását a valószínűségi értékekhez az alapesemény valószínűségének modellezésében. Ezenkívül nem teszi lehetővé a bizonytalanság, a valószínűség és a lehetőség különböző aspektusainak egyidejű kezelését. A legkifinomultabb, legpontosabb és jól felépített kvantitatív modell is félrevezető eredményeket adhat, ha a bizonytalanságokat valamilyen szinten nem kezelik.

Az alapvető hibafa-elemzéssel az alap- és köztes elemeket logikai kapukon (általában „és” és „vagy” kapukon) keresztül továbbítják egy fa topológiával, ami egy csúcseseményt eredményez, amelyet a rendszer megbízhatóságaként lehet azonosítani (lásd 1. ábra).



1. Ábra. Klasszikus hibafa analízis

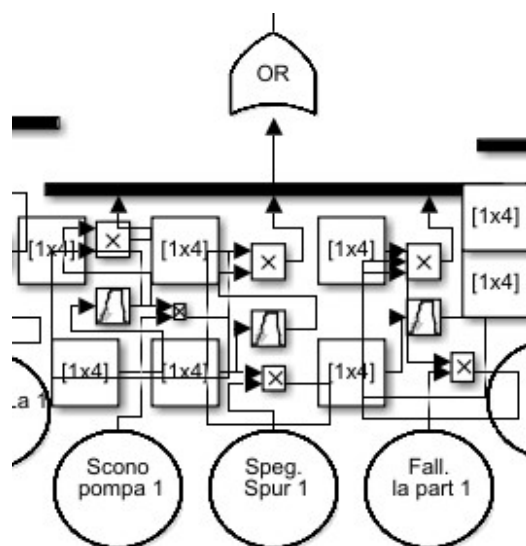
A fuzzy-fied- vagy fuzzy-FTA szakirodalomban publikált általános technikai szempontok szinte kizárólag nukleáris mérnöki kérdésekre koncentráltak. Többek között a Palermo Egyetem Nukleáris Mérnöki Csoportja nyílt forráskódú TreeZZy szoftvert tett közzé, ahol a legfontosabb esemény-megbízhatóság érdekében minden eljárást egy szoftverrendszer kódolt [11].

Az eljárás során a klasszikus cut-set módszert veszik figyelembe, majd ugyanazt a trapéz alakú tagsági függvényekkel ellátott rendszert értékeli a fuzzy logikai

kapuk segítségével. A rendszer megbízhatósága a vegyes fuzzy top esemény, mint tagsági funkció.

A hibafa-elemzést követő rezgés technikai gyakorlatban azonban az érdeklődés az alapesemények prioritására is rátérhet, a kevert fuzzy top eseményből számítva. Ezért kifejlesztettünk egy új fuzzy hibafa eljárást a következő tulajdonságokkal:

- Időfüggő és fuzzificált alapesemények bemutatása
- Programozható ÉS és VAGY kapuk a rendszer vezérlésének lehetővé tételéhez és a rendszer nem-linearitásának figyelembe vételéhez.
- Runge-Kutta numerikus séma alkalmazása a konvergencia biztosítása és a logikai hibafa egyenletrendszer párhuzamosításának lehetővé tétele időfüggő és fuzzificált alapeseményekkel. (Lásd 2. ábra.)



2. Ábra. A fuzzy hibafa eljárás Simulink változata

A fent említett korlátozások FTA-val való kezelésének megfelelő elméleti módszerekkel való rendelkezése egyértelmű, és a rendszer komplexitásának növekedésével egyre nagyobb jelentőségű.

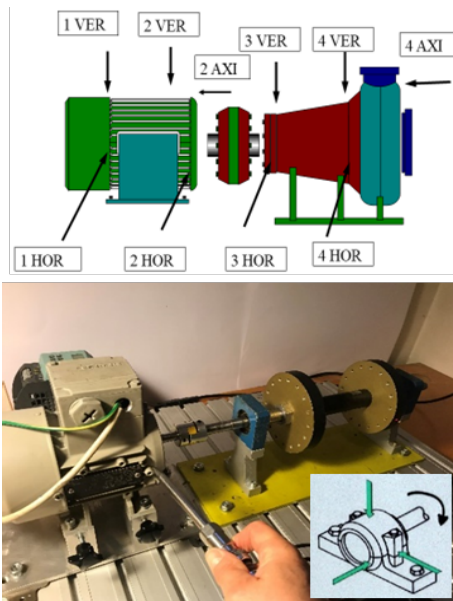
Ebben a munkában egy kézi rezgés kísérlettel és az alapvető eseményprioritásokat meghatározó hibaelmélet alkalmazásának koncepciójának áttekinthető áttekintésével foglalkozunk.

Az alapfogalmak (2. fejezet) bevezetése után az új, mátrix alapú beágyazott online módszerre koncentrálnak a fuzzy alapesemények prioritásaira (3. fejezet). A 4. részben bemutatjuk első eredményeinket, végül bemutatjuk a következtetéseket.

2. KÉZI REZGÉSMÉRÉS ALAPFOGALMAK

2.1 A rezgésmérés előkészítése a mérési pontok kialakítása

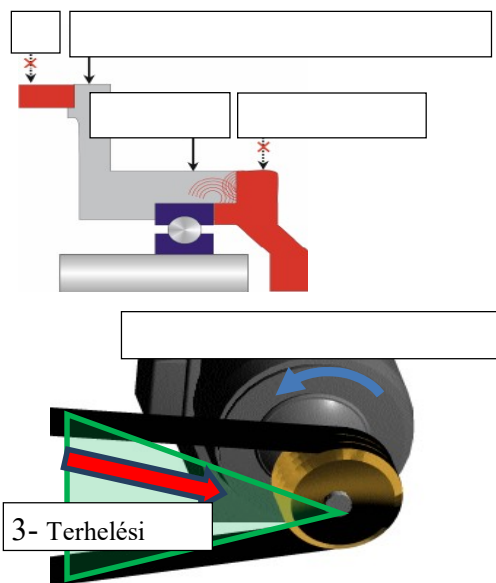
A különféle géphibák csak meghatározott mérési irányból diagnosztizálhatók. A gyakorlatban a rezgésmérést lehetőleg minden mérőponton minden mérési irányból szisztematikusan (X-HOR, Y-VER, Z-AXI irányban) kell elvégezni. Amikor a rezgésmérési tervet készítjük fontos



figyelembe venni a mérőpont megközelítését, a gép méreteit, a csapágyak helyét, az anyagminőséget (mágneses/nem mágneses), a kézre ható balesetveszélyt stb. Erre mutat példát a 3. ábra.

3. Ábra. A mérési pontok és irányok tervezése [saját ábra]

A mérőpontok helyszínen történő kiválasztásának szintén nagy a jelentősége. A rezgést mérő személy a helyszínen dönt az érzékelő elhelyezéséről és irányáról. A döntés jelentősen befolyásolja a diagnózis pontosságát. A mérőpont kialakításának négy fő szempontját a 4. ábra jelölései mutatják.



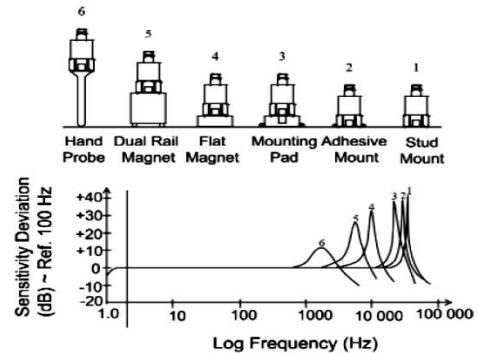
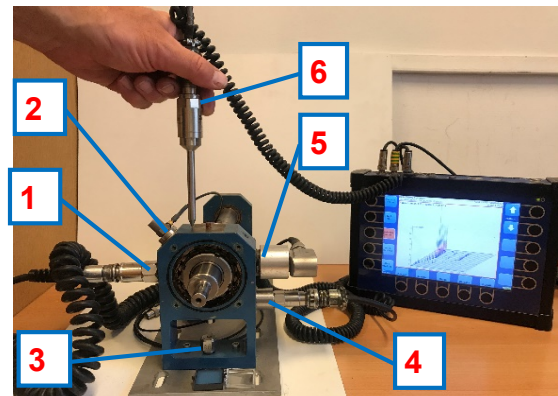
4. Ábra A mérőpont kialakítási szempontok [saját ábra]

A jel csak egyszer léphet át az anyaghatáron, ez pedig csak a csapágy és a ház között lehetséges (1). A csapágy és gyorsulásmérő között a lehető legkisebb távolság legyen (2). A mérési pontot a csapágy terhelési zónájában (3) a forgásiránnyal szemben (4) szabad kialakítani.

2.2 Rezgésérzékelők felszerelési lehetőségei

A rezgésérzékelők telepítésénél az első felmerülő kérdés, hogy állandó, vagy ideiglenes rögzítésre van szükség. Az érzékelő rögzítése meghatározza a rezgésmérés frekvenciatartományát, ezért fő követelmény a gyorsulásmérő alapja és a felület közötti merev mechanikus érintkezés.

Mínél erősebb a rögzítés, annál magasabb maximális mérési frekvencia. Ez magas fordulatszámú gépeknél (pl. sugárhajtómű, gázturbina, stb.) és fogaskerék hajtásoknál létfontosságú. A gyakorlatban alkalmazott lehetséges rögzítési módszereket és az általuk mérhető maximális



frekvenciát az 5. ábrán láthatjuk.

5. Ábra. A gyakorlatban alkalmazott érzékelő rögzítési módszerek és az általuk mérhető max. frekvencia [saját fotó]

A gyorsulásmérő acél csavarral történő menetes rögzítése (5. ábra: (1)) a legjobb rögzítési módszer, mert így érhető el a legmagasabb rezonancia frekvencia. Olyan helyeken, ahol a nem megvalósítható, vagy nem kívánatos a menetes furatok fúrása és csavaros rögzítése, méhviasz, epoxi-, vagy ciánakrilát ragasztó segítségével rögzíthető a teszt tárgyra lásd. 5. ábra (2 és 3). A frekvencia válasz majdnem olyan jó lesz,

mint a csavar segítségével. A méhviasz segítségével gyorsan, kényelmesen felszerelhető és eltávolítható a gyorsulásmérő, azonban a méhviasz magas hőmérsékleten megolvad, ezért a módszer csak kb. 40 °C-ig alkalmazható.

A gyorsulásmérő felszerelésének egyszerű módja egy bipoláris vagy lapos állandó mágnes használata, lásd az 5. ábrát: (4) és (5), amely nagyszámú mérés esetén könnyen és gyorsan áthelyezhető egyik mérési pontból a másikba. A mágnes tiszta és sima ferromágneses felületeken használható. A dinamikus tartomány korlátozott a mágnes korlátozott ereje miatt; ennek ellenére a módszer gyakorlat számára megfelelő frekvenciájú jelet tud biztosítani, ezért műszaki gyakorlatban ez az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer.

A kézi szonda használata talán még a mágnesnél is könnyebb, azonban a nem megfelelő mérőerő miatt, a maximális mérési frekvencia itt a legalacsonyabb. Az így végrehajtott rezgésmérések nagy gyakorlatot igényelnek, mert ennek a módszernek a legnagyobb a bizonytalansági együtthatója. A gépészeti gyakorlat számára azonban a legtöbb esetben elegendő információt nyújt, mivel az általános mechanikai hibák az alacsony frekvenciatartományban mérhetők. A kézi mérések lehetővé teszik a rezgések mérését akkor is, ha más mérési módszer nem lehetséges. Például, általában tilos egy új elektromotor csapágyhelyét, vagy mérési pontjait megfűrni ragasztani, amíg a gépre garancia vonatkozik. A mérőpontok kifűrésát a gép tulajdonosa általában nem engedélyezi!

2.3 A kézi szondával végzett rezgésmérés bizonytalansági tényezői

A következőkben a kézi szondák mérési pontosságát befolyásoló bizonytalansági tényezőket foglaljuk össze.

A környezeti hőmérséklet hatása: Minden piezoelektromos anyag hőmérsékletfüggő, így a környezeti hőmérséklet bármilyen változása megváltoztatja a mérési eredményt. Alacsony hőmérsékleten (-20°C-0°C körül) depolarizáció léphet fel, amely akár 5-10% -os hibát is okozhat.

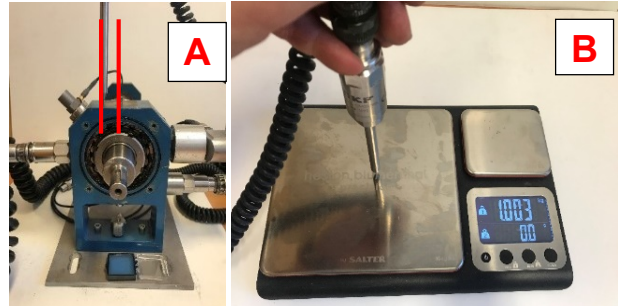
Vízszintes és függőleges mérési irányhiba: Ez a bizonytalanság a felületre merőleges pozíciótól való eltérést jelenti. Lásd a 6. ábrát.



6. Ábra. Függőleges mérési irány hiba [saját fotó]

Függőleges és vízszintes eltérés a forgástengely középvonalától: Ez a bizonytalanság a forgástengely középvonalától való eltérést jelenti, lásd a 7.A ábrát.

Mérőerő-különbség: A kézi rezgésméréshez egy speciális



rezgésmérő tűskét használunk, amelyet szabály szerint 10N (1000 gr) erővel kell a felületre nyomni. Az emberi érzékszervi hiba miatt akár 2-3N (2-300 gr) eltérés is előfordulhat a mérőerő tekintetében. A helyes mérőerőt gramm-pontosságú mérleggel tesztelik, amint azt a 7. B. ábra mutatja.

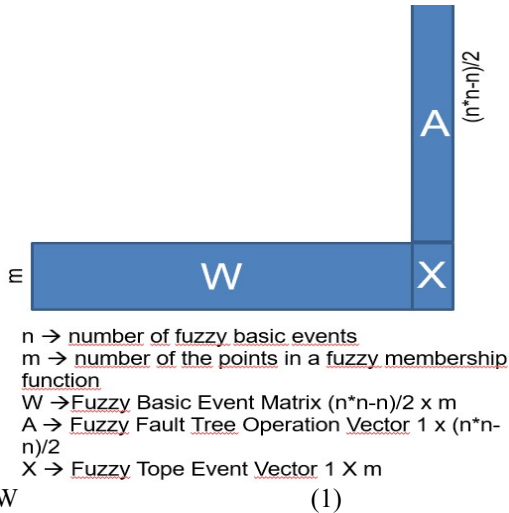
7. Ábra. A vízszintes eltérés a középvonalától (A) és a mérőerő különbség szemléltetése (B) [saját fotó]

Túlvezérlési hiba (Emberi tényező): Az emberi hiba okozta felülírási hiba. Lehetséges, hogy a bemeneti feszültség meghaladja az A / D átalakító maximális feszültségét a felülettel ütköző nagy erőérzékelő miatt, amely esetben az átalakító túlhajt. Ez akár 25 - 50% -os hibát is okozhat, mivel az A / D átalakító meghamisítja a bemeneti jelet. Jó példa erre, amikor a kézi érzékelőmérő csúcsa megcsúszik az elektromos motor hűtőbordáján és a bordába ütköző mérőtűske veszélyes rezgéscsúcsot hoz létre a spektrumban. Ezenkívül számos bizonytalanság fordulhat még elő (pl. anyagátmenet, rossz csapágy távolság, FFT ablakozási technika hibája, rosszul megválasztott FFT átlag, jel átmeneti hiba, stb.), amelyek részletes ismertetését a cikk terjedelme nem teszi lehetővé. Röviden a 3.2 táblázatban foglaljuk össze.

3. A FUZZY PRIORITÁSOK MEGHATÁROZÁSA

3.1 A fuzzy prioritások meghatározásának elmélete

A fuzzy hibafa-rendszer valós idejű beágyazott meghatározó alapesemény-prioritása kifejezhető az m-dimenziós (a tagsági függvény vektor m és $1/2 * (n * nn)$ -dimenziós (n az alapesemények száma)) ismeretlen tagsági függvényforrások W felhasználásával:



8. Ábra. A W mátrix jelölése [saját ábra]

Az online beágyazott algoritmus egy iteratív optimalizálás a tagságfüggvény-paraméterek maximális valószínűség-becslésének megtalálásához a fuzzy hibafa modellben, ahol a modell a vegyes felső eseménytagsági X függvény vektorból indul. (Lásd 8. Ábra)

Az X mérete $1 \times m$, ahol m a fuzzy tagságfüggvény-vektor száma. A fuzzy hibafa műveleti vektor A mérete $1 \times (n^2 - n) / 2$, ahol n az alapesemények száma.

A W mátrix mérete $m \times (n^2 - n) / 2$, lásd a 8. ábrát.

A W mátrix becslése statisztikai és numerikus nehézségekkel jár. Természetes statisztikai megközelítést maximális valószínűséggel kényelmesen megvalósíthatunk a kvázi Newton-optimalizálás segítségével.

Algoritmusunk egy beágyazott iteratív eljárás, amely növeli a w aktuális w^λ becslésének log valószínűségét. ($\lambda = 1, 2, 3, \dots, n$).

Legyen c_{ki} a végső alapesemény-mátrix segédmátrixa.

Az algoritmus alkalmazása megadja a c_{ki} előrejelzett értékét, amikor az X fuzzy top eseményvektor adott, a w jelenlegi w^λ becslés alatt.

Ezt követően a w alapesemény-mátrix maximális valószínűségi becslése az előző lépés becslt c_{ki} adatainak felhasználásával.

Az alapesemények prioritása a w eredménymátrix elemeinek sorrendjéből származik.

1. Táblázat A fuzzy eloszlások táblázata

Nr	Paraméter	Tagsági függvény	Dimenzió	Bizonytalansági paraméter
1	Környezeti hőmérséklet		[°C]	Minden piezoelektromos anyag hőmérsékletfüggő, ezért a környezeti hőmérséklet bármilyen változása megváltoztatja a mérési eredményt.

A q_i -t és az r_k -t a következőképpen definiáljuk

$$q_i = \sum_{k=1}^i A_{ki} \text{ and } r_k = \sum_{i=k}^n A_{ik} w_i^\lambda \quad (2)$$

Az iteratív algoritmus

$$c_{ki} = \frac{w_i^\lambda X_k A_{ki}}{r_k} \quad (3)$$

minden i és k esetére és a rekurzió meghatározható

$$w_i^{\lambda+1} = \frac{1}{q_i} \sum_{k=1}^i c_{ki} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

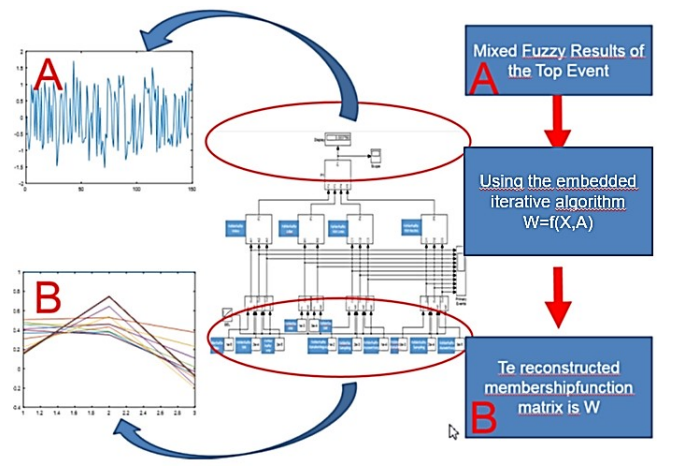
Ezeket kombinálva

$$w_i^{\lambda+1} = \frac{w_i^\lambda}{q_i} \sum_{k=1}^i \frac{X_k A_{ki}}{r_k} \quad (5)$$

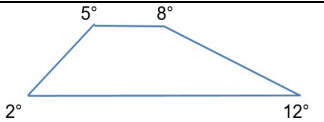
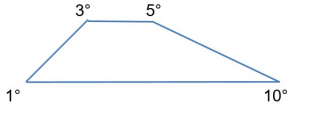
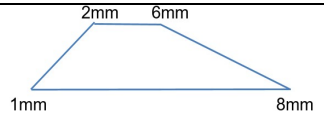
Ez az egyenlet az alapesemény-mátrixhoz minimális megoldási sorrendet eredményez a W mátrix számára.

Az algoritmus beágyazott jellege a minimális λ szám és a konvergencia révén valósul meg.

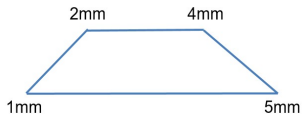

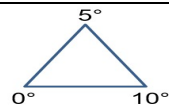
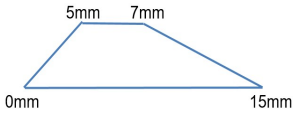
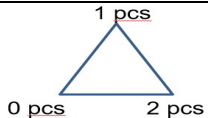
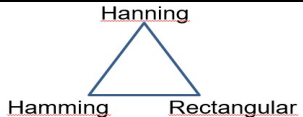
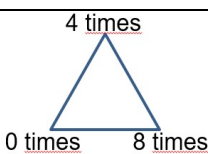
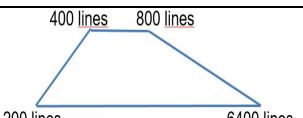
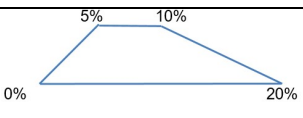
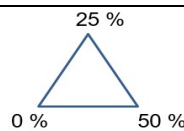
A beágyazott megoldás magyarázatait tartalmazó folyamatábra a 9. ábrán kísérhető figyelemmel.



9. Ábra. A fuzzy prioritások meghatározásának lépései

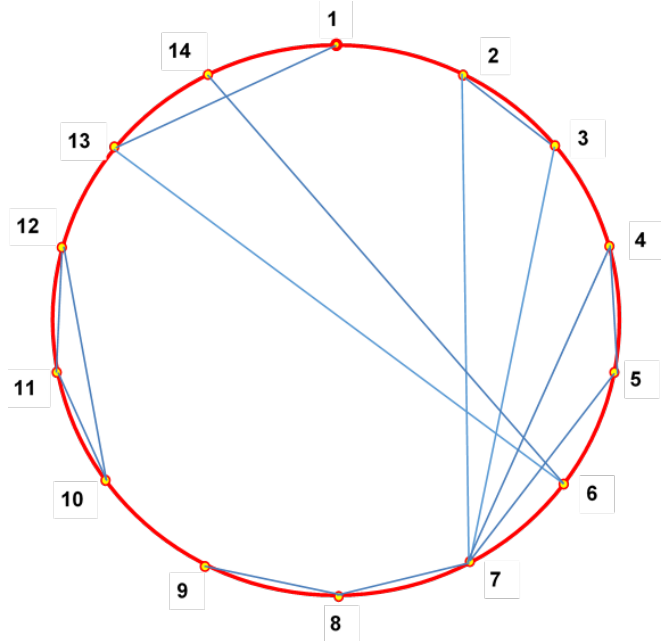
2	Horizontális mérési irány		[°] fok	Ez a bizonytalanság a felületre merőleges pozíciótól való eltérést jelenti. Lásd: 6. ábra.
3	Vertikális mérési irány		[°] fok	Ez a bizonytalanság a felületre merőleges pozíciótól való eltérést jelenti. Lásd: 6. ábra.
4	Horizontális távolság a középvonaltól		[mm]	Ez a bizonytalanság a forgástengely középvonalától való eltérést jelenti, lásd a 7. A. ábrát.

1. Táblázat A fuzzy eloszlások táblázata

Nr	Paraméter	Tagsági függvény	Dimenzió	Bizonytalansági paraméter
5	Horizontális távolság a középvonaltól		[mm]	Ez a bizonytalanság a forgástengely középvonalától való eltérést jelenti, lásd a . ábrát.
6	Mérőerő		[gram]	A kézi rezgésméréshez egy speciális rezgésmérő hegyet használunk, amelyet 10N (1000 gr) erővel kell a felületre nyomni. Az emberi érzékszervi hiba miatt akár 2N (200 gr) eltérés is előfordulhat a mérőerő tekintetében.
7	Hibás terhelési zóna		[°]	Ez a bizonytalanság megmutatja, hogy hány fok veszik el a terhelési zóna pontos irányához képest.
8	Távolság a csapágytól		[mm]	A csapágyak pontos helyzetét a mérést végző személy éri el 5 - 7 mm átlagos hibával. Ez bizonytalanságot is okoz a teszt eredményében.
9	Anyaghatáron való átmenet száma		[Db (pcs)]	A mérést végző személy hibája miatt a jel nem egy, hanem két vagy több alkatrészben keresztül jut be az érzékelőbe.
10	FFT ablakozási technika hibája		[%]	A helytelenül kiválasztott Windowing technológia (Hanning, Hamming, Rectangular) átlagosan 16% -os eltérést okoz az amplitúdóban vagy a frekvencia pontosságában.
11	FFT átlagolási szám		[Db] (times)	Az átlagolási szám növelése jelentősen megnöveli a rezgésmérés időtartamát, azt az időt, amíg az érzékelőt kézzel kell a felületre nyomni. Hosszabb időtartam (8-16 átlagoló szám) után a mérést végző személy keze remegni kezd, ami meghamisítja a mérést.
12	FFTA spektrum vonal (felbontási) szám		[Vonalszám]	Az átlagosnál nagyobb (800 - 6400) vonalfelbontás (FFT spektrum felbontás) hatása hasonló az átlagolási számhoz, mivel a mérés időtartama ebben az esetben is többször megnő.
13	Szenzor érzékenység megadás hibája		[%]	A piezoelektromos érzékelők képesek amplitúdót mérni +/- 5% pontossággal a lineáris tartományban. A mérőerő változása ezt az értéket +/- 20% -kal növelheti.
14	Emberi tényező miatt ülvézérelt jel		[%]	Lehetséges, hogy a bemeneti feszültség meghaladja az A / D átalakító maximális feszültségét a felülettel ütköző nagy erőérzékelő miatt, amely esetben az átalakító túlhajt. Ez akár 25 - 50% -os hibát is okozhat, mivel az A / D átalakító meghamisítja a bemeneti jelet.

A fuzzy hibafa elkészítéséhez az Erdős-Rényi grafikonon alapuló paraméterek közötti összefüggéseket a 9. ábra mutatja.

Az Erdős-Rényi grafikonon bemutatjuk a különböző prioritások közötti logikai összefüggéseket. Például a hőmérséklet (1) hatással van az érzékelő érzékenységére (13). A mérés tervezési paraméterei (10) (11) (12) összefüggenek egymással. A mérőerő (6) hatással van az érzékenységre (13) és az emberi hatásra (14). A helytelen terhelési zóna (6) befolyásolja a mérés irányát (2), (3), (4) (5) és a csapágy helyének pontosságát (8). Az anyagi határátmenet (9) összefüggésben van a mérési pont (8) csapágytól való távolságával is.

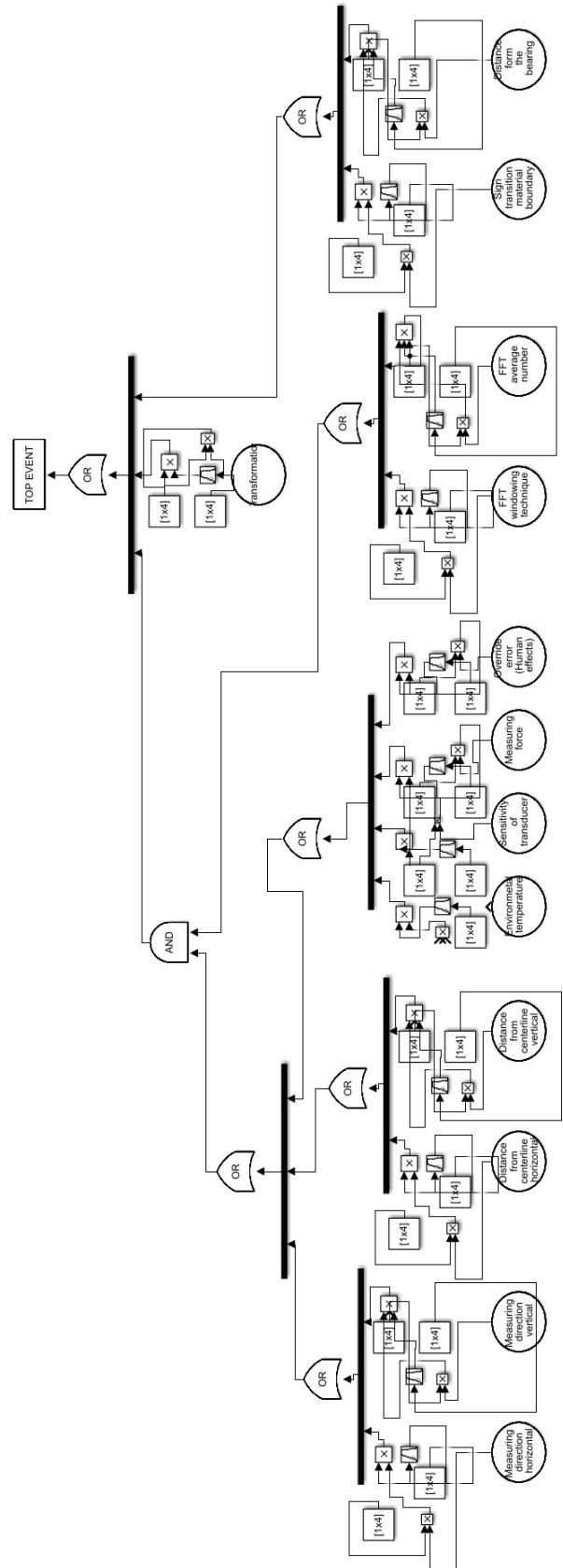


10. Ábra. Erdős-Rényi gráf a fuzzy alapesemények összefüggéseihez [saját ábra]

A fuzzy hibafa modell a 11. ábrán látható, és az Erdős-Rényi grafikon alapján készült. A 14 alkalmazott alapeseményt gyakorlati tapasztalatok alapján kapcsoltuk össze.

A prioritásokat táblázatos formában mutatjuk be a 2. táblázatban. Ugyanazon prioritási értékek esetén a sorrend azonos.

10. Ábra. Erdős-Rényi gráf a fuzzy alapesemények



összefüggéseihez [saját ábra]

2. Táblázat A fuzzy eloszlások táblázata

FELHASZNÁLT IRODALOM

Prioritás	[%]	Paraméter
Nr.1.	41	14. Emberi tényező miatt túlvezérelt jel
Nr.2.	17	8. Csapágytól való nagy távolság hatása
Nr.3.	9	6. MÉRŐERŐ ingadozás miatti hiba
Nr.4.	9	5. Függőleges eltérés a középvonaltól
Nr.5.	5	2. Vízszintes mérési irány hiba
Nr.5.	5	1. Környezeti hőmérséklet hatása
Nr.5.	5	4. Vízszintes eltérés a középvonaltól
Nr.5.	5	3. Függőleges mérési irány hiba
Nr.6.	2	12. Rosszul választott FFT vonalszám
Nr.7.	1	9. Jelvesztés túl sok anyagátmenet
Nr.7.	1	7. Rosszul megválasztott terhelési zóna
Nr.8.	0	11. Rossz FFT ablakozási technika
Nr.8.	0	10. Rossz FFT átlagolási szám
Nr.8.	0	13. Rosszul beállított érzékenység

A kutatás jelenlegi szakaszában kifejlesztettek egy módszert a Fuzzy FTA hibafa-elemzés "kézi" mérésére. A különböző bizonytalanságok hatásának, prioritásainak és hatásainak összefüggéseinek becslése 25 éves ipari vibrációs tapasztalatunkon alapul. Munkánk egyik eredménye, hogy azonosítottuk és rangsoroltuk a „kézi” mérést befolyásoló tényezőket. Ezen felül meghatároztuk a logikai összefüggéseket a különböző bizonytalanságok között. A vizsgálat eredménye gyakorlati szempontból elfogadható, mert az emberi tényező (14) valóban jelentős hatással van a rezgésmérés pontosságára. A bizonytalanság Fuzzy módszerekkel történő meghatározásának gyakorlati előnye, hogy a bizonytalanságokat a mérési egységek széles skálájával könnyebb kezelni, ezért pontosabb eredményt adnak, mint más módszerek. Kutatási munkánk következő lépése ezen bizonytalanságok hatásának pontos meghatározása, a függvénykapcsolatok fejlesztése.

4. MEGÁLLAPÍTÁSOK

Ebben a munkában egy mátrix módszerrel készített valós idejű beágyazott módszert mutatunk be a fuzzy alapesemény-prioritáshoz, amely a legfelső eseményből származik és a fuzzy hibafa topológiáján alapul. A matematikai modell elemzése alapján megállapíthatjuk, hogy:

1. A beágyazott algoritmus segítségével lehetőség van a valós (rendszer által meghatározott) alapvető események-tagsági funkciók figyelembevételére.
2. Meghatározható a fuzzyfied alapesemények fontosság-mutatója.
3. A helyreállítási algoritmus kicsi bonyolultsága valós idejű beágyazott mikrovezérlő alkalmazásokat tesz lehetővé.
4. Az alapesemény-tagsági funkció változásának online figyelemmel kísérése lehetséges.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával megvalósuló EFOP-3.6.2-16-2017- 00016: „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” projekt támogatata.

Domotor F. (edited by): *Vibration Diagnostics Vol. I.* (In Hungarian), ISBN 978-963-87780-0-0, Dunaujvaros, Hungary, 2010

J.Z.Szabó: *Vibration diagnostic examination for measuring of shaft alignment problem* pp. 47-56. In: *Trivent Proceedings of the 11th International Conference on Global Research and Education in Engineers for Better Life Budapest, Hungary: TRIVENT-2012*

J.Z.Szabó: *Vibration Diagnostic Test for effect of Unbalance* INES 2012 16th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2012 Lisbon, Portugal June 13-15, 2012.

Dr. Colin Novak, P. Eng: *Principles of Vibration Measurement and Analysis* Brüel&Kjaer, www.bksv.com

Brüel&Kjaer: Brüel & Kjaer Transducers and conditioning: <http://www.bruel.hu/pdf/bf0236.pdf>

Zadeh, L. A., *Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, Fuzzy sets and Systems*, Vol. 1, No. 1 pp. 3-28, January 1978.

Tanaka, H., L. T. Fan, F. S. Lai, and K. Toguchi, *Fault-tree analysis by fuzzy probability, IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 32, No. 5, pp.453-457, November 1983.

Kuznetsov N.Y., *Fault trees problems and the modern state of investigations. Cybernetics and Systems Analysis* 30(3).] 1994.

Soman, K. P., and K. B. Misra, *Fuzzy fault tree analysis using resolution identity and extension principle, Internat. J. Fuzzy Math.*, Vol. 1, pp.193-212, 1993.

Misra, K. B., and K. P. Soman, *Multistate fault tree analysis using fuzzy probability vectors and resolution identity, In: Onisawa T. and Kacprzyk J. Eds., Reliability and Safety Analysis under Fuzziness*, Heidelberg: Physica-Verlag, pp.113-125, 1995

Casamirra, M., Castiglia, F., Giardina, M., Tomarchio, E. 2014: *Safety analyses of potential exposure in medical irradiation plants by Fuzzy Fault Tree*. University of Palermo, Nuclear Engineering Department. 2014

Huang, H. Z., X. Yuan, and X. S. Yao, *Fuzzy fault tree analysis of railway traffic safety, Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ASCE*, pp.107-112, 2000.

[Huang, H. Z., X. Tong, and Ming J. Zuo, *Posbist fault tree analysis of coherent systems, Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 84, No. 2, pp.141-148, May 2004.

Furuta, H., and N. Shiraishi, *Fuzzy importance in fault tree analysis, Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 12, No. 3, pp.205-213, April 1984.

Feng, J., and M. D. Wu, *The profust fault tree and its analysis, Journal of National University of Defense Technology*, Vol. 23, No. 1, pp.85-88, February 2001.

Lin, C. T., and M. J. J. Wang, *Hybrid fault tree analysis using fuzzy sets, Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 58, No. 3, pp.205-213, December 1997.

Suresh, P. V., A. K. Babar, and V. V. Raj, *Uncertainty in fault tree analysis: A fuzzy approach, Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 83, pp.135-141, October 1996.