

# ESZKÖZGAZDÁLKODÁS AZ ÁLLAPOTFÜGGŐ- ÉS KOCKÁZATALAPÚ KARBANTARTÁSI STRATÉGIÁK PÁRHUZAMOS ALKALMAZÁSÁVAL

Dr. Nagy István ügyvezető  
Kungl István, informatikus  
Pap Norbert vezető diagnosztika  
Baksai Gábor mérés- és laborvezető  
Csete László Barnabás diagnosztika  
Vajda Miklós diagnosztika

Delta-3N Kft.  
H-7030 Paks, Jedlik Ányos u. 2.  
e-mail: [drnagy@delta3n.hu](mailto:drnagy@delta3n.hu)

## Bevezetés

Cégünk kulcsrakész megoldásokat kínál az állapotfüggő- és a kockázat alapú karbantartási rendszerek bevezetéséhez, és a fenntartásához szükséges gépállapotra vonatkozó információk biztosítására. A rendszer összetettsége abban rejlik, hogy képes olyan fejlett diagnosztikai eljárások eredményeinek integrálására, mint a rezgésanalízis, a termográfia, a használt olaj analízis és a ferrográfia. A komplex állapotfelügyeleti rendszer eredményei alapján lehetővé válik a forgógépek kockázati besorolása. Az alábbiakban bemutatjuk az automatikus állapotfüggő kockázati besorolás folyamatát, melynek eredménye a kockázati mátrixban jelenik meg.

A rendszer eredményei jó alapot adnak az eszközgazdálkodással foglalkozó szakemberek kockázat alapú karbantartási döntéseihez. A megbízható és automatikus hiba diagnosztika és hiba súlyosság meghatározás lehetővé teszi az állapot függő karbantartás (PdM), valamint a kockázat alapú karbantartási stratégia (RBM) párhuzamos alkalmazását.

Az on-line és off-line állapot felügyeleti rendszerek, melyek képesek az automatikus diagnosztikára (mesterséges intelligencia alapú szoftver), megfelelő eszközként szolgálnak a PdM & RBM karbantartási stratégia megvalósításához. Áttekintjük a fent említett naprakész Karbantartási Tanácsadó Rendszert, valamint röviden bemutatjuk a hardver- és szoftverfejlesztéseket, illetve az integrált rendszerek funkcióit és a karbantartás területén elérhető előnyeit.

## A rezgésdiagnosztikai szakértői rendszer működése

A rendszer eredményességének alapját az AzimaDLI által kifejlesztett ExpertALERT gépállapot meghatározó kiértékelő szoftver képességei biztosítják. Az ExpertALERT egy automatikus szabálybázisú rezgésdiagnosztikai szakértői rendszer. A következőkben röviden bemutatjuk működését.

Az AzimaDLI technológiája az alábbi funkciókat kínálja rendkívül hatékony módon:

- Adatgyűjtés (érzékelő kiválasztás és rögzítés)
- Adat kezelés (jelfeldolgozás)
- Állapot meghatározás (referencia adatbázis)
- Állapot kiértékelés (automatikus hiba meghatározás)
- Előrejelzés, értékelés (javítási feladatok meghatározása)
- Javaslat készítés (jelentés és dokumentáció)

A szakértői rendszer keskeny sávú triaxiális spektrumokat használ, amelyek a berendezés csapágaihoz a lehető legközelebbi mérési helyről származnak. A spektrumból meghatározásra és kiemelésre kerül az összes komponens sebessége, valamint az azokhoz tartozó egyes sajátosságok. Ezután összehasonlítás történik a diagnosztikai szabálybázissal.

A sajátosságok széles skálája egy mátrixba foglalva komponens specifikus adat mátrix (Component Specific Data Matrix-CSDM) néven képezi a rendszer egyik alappillért. A CSDM elemei, mint input adatok használatával kiértékelésre kerülnek a megfelelő diagnosztikai szabályok, amelyeknél az egyes géphibák jelenlétére utaló mintákat keres a rendszer. Az egyik egyszerű példa lehet a kiegyensúlyozatlanság szabálya, amely azokat a CSDM elemeket ellenőrzi, amelyek tartalmazzák a forgási frekvenciát és az átlag túllépését, hogy ellenőrizze, azok magasak-e radiális irányban. Amennyiben a fenti feltétel teljesül további vizsgálatok meghatározzák, hogy a probléma nem tengely beállítási hiba, vagy lazulás eredménye, így megerősítésre kerül a kiegyensúlyozatlanság. Ezek a diagnosztikai szabályok több tízezer gép vizsgálata során alakultak ki és finomodtak.

Az AzimaDLI több mint 20 évvel ezelőtt mutatta be az első kereskedelmi forgalomban kapható triaxiális gyorsulásmérőt a 3 dimenziós rezgésmérésekhez, melynek használatát a mai napig támogatják a legújabb hordozható adatgyűjtői, illetve online rezgésmonitorozói is. Egy triaxiális rezgés gyorsulás érzékelő, vagy három egyirányú rezgés gyorsulásmérő mérőtuskóra rögzítve a lehető leghatékonyabb módszer kölcsönösen merőleges elhelyezkedésű irányokba történő rezgésméréshez.

Kritikus, vagy nehezen megközelíthető berendezések esetében a 3D-s mérést általában három egyirányú érzékelő segítségével végzik, valamint előfordul, hogy a rezgést 2D-ben, vagy egyetlen irányban mérik.

Az AzimaDLI adatgyűjtési módszere rugalmas, hiszen különböző számú és típusú (rezgés gyorsulás-, rezgés sebesség-, vagy elmozdulás-) érzékelők jeleit képes fogadni, valamint a kiértékeléshez felhasználja a rendelkezésre álló folyamatérzékelők által mért paramétereket, úgymint sebesség, motor áram, hőmérséklet, vagy nyomás.

Az off-line és on-line rendszer az alábbi jelfeldolgozási eljárásokat támogatja:

- Spektrum/FFT: általános hiba meghatározás
- Időjel/Orbitok: ütések, siklócsapágys
- Burkológörbe analízis, demodulált spektrum: gördülőelemes csapágys
- teljes amplitúdó: teljes gép hiba súlyosság
- Fázis: hiba meghatározás
- Cepstrum: harmonikus családok vizsgálata

Az ExpertALERT hatékonysága annak köszönhető, hogy statisztikai átlagadatokat hasonlít az aktuális adatokhoz. Az aktuális spektrumok átlaghoz való viszonyítása során a szoftver 800, 1600, 3200, (6400 12800 vagy 25600) frekvencia vonalat vizsgál az esetleges géphibák feltárása érdekében. Ez a fajta adat összehasonlítási eljárás sokkal kifinomultabb, mint a hagyományos eljárások, melyek általában csak 6-12 frekvenciasávot használnak.

Az AzimaDLI állapotfelügyeleti szoftvere tartalmazza a szabálybázisú, automatikus diagnosztikai modult és a szükséges grafikus elemző eszközöket, melyek segítségével a különböző meghibásodások széles skálája megerősíthető. A diagnosztikai rendszer a legkisebb hiba mintát is képes beazonosítani a rezgésjelekben, ezáltal megismételhető, és részletes elemzésre ad lehetőséget. Az azonosított hibákból trend készíthető, így a szakemberek a rezgésszintek változása helyett a tényleges hibák időbeni változását is nyomon követhetik. A több mint 4700 diagnosztikai szabálynak köszönhetően 47 gépkomponens 956 különböző meghibásodása azonosítható.

Expert system results

SZIV-3306-2

MID: 1130

Jelentés készítve: 2008.05.17. 02:27 du.

Mintavételezve: 2008.05.17. 09:07 de. 1xM = 2980 f/min Átlagok: 6

JAVASLATOK:

FONTOS: VIZSGÁLJÁK MEG A KUPLUNGOT ÉS ELLENŐRIZZÉK A TENGELY BEÁLLÍTÁSÁT

KIVÁNATOS: FOKOZOTTAN FIGYELJÉK A MOTORT. MEGNÖVEKEDETT A REZGÉSSZINTJE

KIVÁNATOS: ELLENŐRIZZÉK A MOTOR RÖGZÍTÉSÉT, AZ ALAPKERET ÉS ALAPCSAVAROK ÉPSÉGÉT

KIVÁNATOS: ELLENŐRIZZÉK A MOTOR TÁMCsapágys ILLESZTÉSÉT

DIAGNÓZIS:

SÚLYOS PÁRHUZAMOS EGYTENGELYŰSÉGS HIBA

KÖZEPES MOTOR CSAPágys BEÁLLÍTÁSI HIBA

KÖZEPES MOTOR ALAPOZÁS KERESZTIRÁNYÚ RÖGZÍTÉSI HIBA

POZÍCIÓ FELIRAT

POZÍCIÓ 1 : BEARING, BEARING 1

POZÍCIÓ 2 : BEARING, BEARING 2

POZÍCIÓ 3 : BEARING, BEARING 3

POZÍCIÓ 4 : BEARING, BEARING 4

RMS ÉRTÉKEK

JÓ 2,78 mm/s nél 2A Alarm szint 4,50 mm/s

JÓ 3,18 mm/s nél 2R Alarm szint 4,50 mm/s

RIASZTÁS: 4,87 (+0,37) mm/s nél 2T

JÓ 2,90 mm/s nél 3A Alarm szint 4,50 mm/s

JÓ 2,74 mm/s nél 3R Alarm szint 4,50 mm/s

1 Ábra: Rezgésdiagnosztikai szakértői jelentés

A következő sajátossága ennek az eljárás módnak, hogy képes jelentést generálni, mely az alábbiakat tartalmazza:

- A hiba megnevezése

- A hiba súlyossága (Nincs hiba, Kismértékű, Közepes, Súlyos és Extrém)
- Javaslat a karbantartásra
- Javítási prioritás (Kíváncos, Fontos és Kötelező)
- A feltárt hibára utaló rezgéscsúcsok részletei

Ez a fajta információ, sokkal jobban kezelhető, mint a nyers (feldolgozatlan) spektrumok, amelyeket más rezgésdiagnosztikai rendszerek nyújtanak. Az adat szűrés, az analízis, a hiba diagnosztizálás és a jelentéskészítés teljes folyamata automatizált.

## Kockázati mátrix automatikus kockázati besorolással

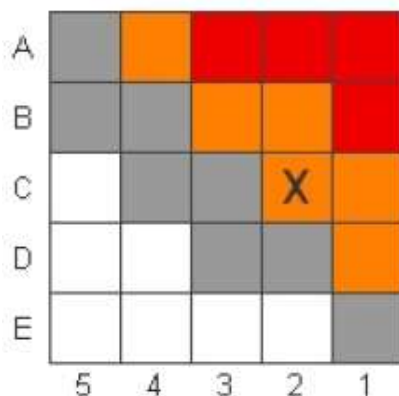
Kifejlesztettünk egy fél-kvalitatív kockázat becslő eszközt. A kockázati besorolás egy gyakori eljárás melynek során nem készül mennyiségi kockázati elemzés a kockázat alapú döntések meghozatalához. Az általunk meghatározott kockázati besorolás alapja egy kockázati mátrix, melynek egyik oldalán a következmény, a másik oldalán a valószínűségi változó áll. A következmény és a valószínűség eredményeként kapjuk a kockázat becslését, vagyis a kockázati besorolást. A kockázati mátrix egy táblázat, melynek segítségével egy fix értéket rendelünk az azonosított kockázathoz. Minden azonosított kockázathoz 1-5-ig terjedő értéket rendelünk a valószínűség és a következmény oldalon egyaránt.

### Kockázati valószínűség:

1. Valószínűtlen – szinte biztos, hogy nem következik be
2. Csekély – nagyon kicsi az esélye
3. Esetleges – lehetséges, korábban már bekövetkezett
4. Valószínű – nagy eséllyel megtörténik
5. Gyakori – biztosan bekövetkezik

### Kockázati következmény:

1. Majdnem elhanyagolható következmény – egyszerűen megoldható
2. Kismértékű hatása lehet a költségekre, vagy az ütemtervre. Néhány nap is szükséges lehet a javításra
3. Figyelemre méltó hatás lehet a költségekre, vagy az ütemtervre. A tervek illetve az ütemterv megváltoztatását is eredményezheti.
4. Súlyos probléma, amely hatással lehet a feladat hitelességére és integritására. További ráfordításokat igényelhet. Jelentős feladat újratervezést igényelhet.
5. Kritikus. A feladat meghiúsulását okozhatja.



2. Ábra: Kockázati mátrix elvi sémája

A kockázat valószínűségének meghatározására az ExpertALERT szabálybázisú szakértői rendszer által szolgáltatott automatikus gépállapot elemzés eredményeit használjuk. A szakértői rendszer által meghatározott hiba súlyosságot az alábbi táblázat alapján vesszük figyelembe a kockázati valószínűség meghatározásánál:

Kategória	Hiba súlyosság	Valószínűség
5	Kismértékű	Valószínűtlen
4	Közepes	Csekély
3	Súlyos	Esetleges
2	Tartósan súlyos	Valószínű
1	Extrém	Gyakori

1.táblázat A kockázati valószínűség kategóriái

Mindegyik kockázati tartomány tartalmazza a személyek biztonsági, a környezeti, az egészségügyi és a gazdasági következményeket, valamint a vállalat megítélését érintő következményeket is.

A kockázati következményeket a következő táblázat részletezi:

Kategória	Kockázati következmény
A	Egy embernél többet érintő halálos baleset, vagy csoportos súlyos sérülés. Súlyos környezetkárosítás. Az üzemet ért kár értéke meghaladja a \$100 millió.
B	Egy embert érintő halálos baleset vagy csoportos súlyos sérülés. Közepes mértékű környezetkárosítás. Az üzemet ért kár értéke \$10-100 millió.
C	Munkaképesség hosszú távú elvesztése, kiesése. Kismértékű környezetkárosítás. Az üzemet ért kár értéke \$1-10 millió.
D	8 napon belül gyógyuló sérülés. Üzem területén belüli zaj, vagy szag kibocsátás. Az üzemet ért kár értéke \$0.1 - 1 millió.
E	Helyszínen ellátható sérülés. Zaj vagy szag. Az üzemet ért kár értéke \$0.1 million

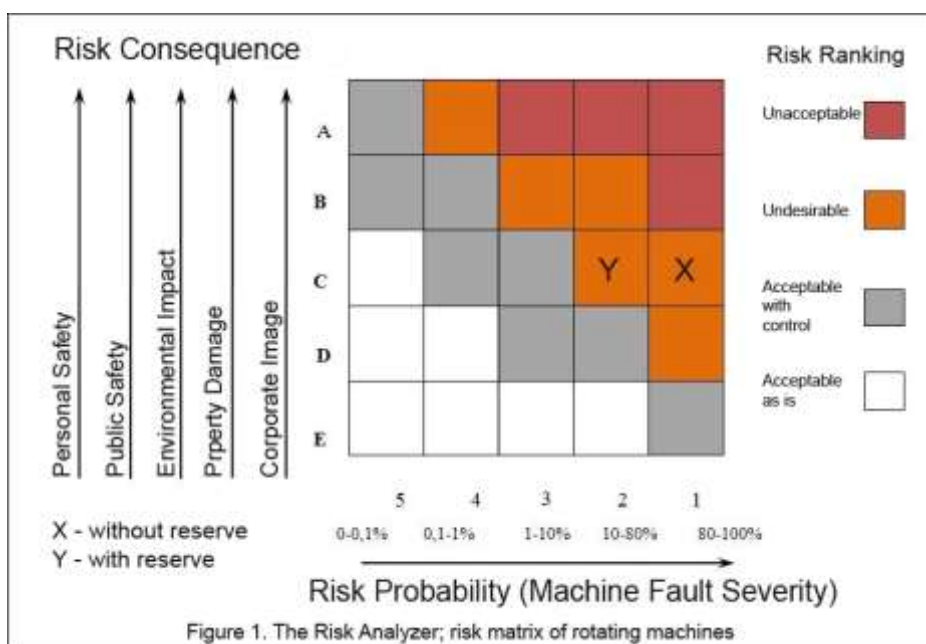
2. táblázat: A kockázati következmény kategóriái

A forgógépek a 2. táblázat szerinti kategóriák valamelyikébe kerülnek besorolásra a technológiai láncban betöltött szerepüket is figyelembe véve. A besorolás pontosságát a nagy üzemi tapasztalattal rendelkező helyi szakemberek biztosítják. A kockázati következmény kategóriák természetesen más szempontrendszer szerint is kialakíthatók, mindig az adott alkalmazási területhez szabhatók.

A következő lépés a kockázat különböző mértékeinek meghatározása a kockázati mátrixhoz. A mátrixban egyértelműen el kell különülnie az elfogadható és az elfogadhatatlan kockázatot jelentő mezőknek. A 3. táblázatban négy kategóriát definiáltunk a kockázat mértékének osztályozására.

Kockázati érték	Kategória	Magyarázat
I	Elfogadhatatlan	Műszaki és/vagy adminisztratív eszközökkel szükséges csökkenteni. A gép azonnali karbantartási intézkedéseket igényel.
II	Nemkívánatos	Műszaki és/vagy adminisztratív eszközökkel szükséges csökkenteni. A következő karbantartási periódusra ütemezni kell a gép karbantartását.
III	Bizonyos fokig elfogadható	Ellenőrizni kell, hogy az eljárások és az ellenőrzés megfelelőek-e. A diagnosztikai mérések gyakoriságát célszerű növelni.
IV	Elfogadható	Nem igényel intézkedést

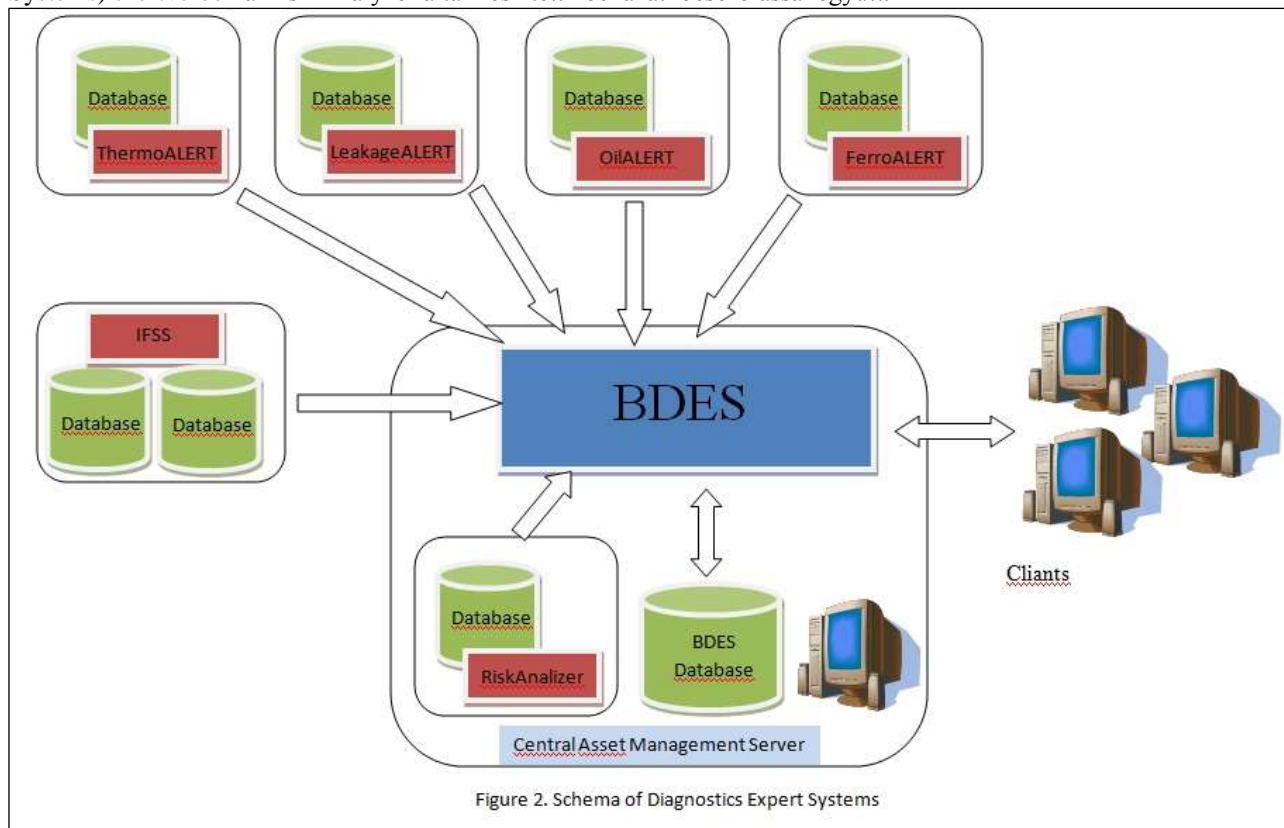
3. táblázat: Kockázati besorolás kategóriái



3. Ábra: Kockázati mátrix

A feladat egyik legfontosabb része a Risk Analyzer szoftver kifejlesztése volt, mely képes az on-line, vagy off-line diagnosztikai rendszer felügyelete alá tartozó forgógépek kockázati besorolására. A fenti ábra a kockázati mátrixot mutatja két tengelyén a következmény kategória, illetve a valószínűségi változó látható.

A következő ábrán az integrált diagnosztikai rendszer elvi vázlata látható. Mindegyik szoftver önálló adatbázissal rendelkezik. A szakértői rendszerek az ExpertALERT-tel kommunikálnak, amelynek automatikus szakértői eredményeit átveszik további felhasználás céljából. A szakértői analízis során készült ExpertALERT, ThermoALERT, OilALERT, FerroALERT és LeakageALERT jelentések megjelenítésre kerülnek a BDES (Board of Diagnostic Expert Systems) szoftverben a Risk Analyzer által készített kockázati besorolással együtt.



4. Ábra: Integrált diagnosztikai rendszer vázlata

## Összefoglalás

Az adat és tudásbázis fejlesztése, valamint a teljes diagnosztikai rendszer kialakítása nagyjából másfél évet vett igénybe. A szoftverfejlesztés eredményeként az összes szakértői rendszer, a BDES és a Risk Analyzer is tesztelésre került és készen áll a munkára.

## Irodalomjegyzék

- [1] Bill Watts and Joe Van Dyke Sr. An Automated Vibration-Based Expert Diagnostic System. Sound & Vibration, Machinery Monitoring, September, 1993.
- [2] Alan Friedman, Expert Automated Diagnostic System, CaseHistory-NavyStudy, DLI Engineering Corp., 2004
- [3] Istvan Nagy, Jenő Szántó and Károly Solyomvári, How Does the Vibration Diagnostic System Work, Central European Forum on Maintenance, Vysoke Tatry, 9-10. 05. 2005.
- [4] István Nagy and Jenő Szántó, Diagnostic Expert System for Maintenance, 12<sup>th</sup> International Conference for Maintenance, Rovinj, Croatia, 16-18 May 2006.
- [5] Dr. Istvan Nagy, Integrating an Online System with an Existing Condition Based Monitoring Program, DLI European Conference, Turkey Antalya, 27-29 June 2007.
- [6] Istvan Nagy, Jeno Szanto, Knowledge Based Surveillance Systems and Maintenance, 8th International Conference, Modern Technologies in Manufacturing MTeM 2007, Cluj Napoca Romania, 4-5 October 2007.
- [7] Dr. Istvan Nagy, Condition Based Maintenance, Technical Diagnostics I., Vibration Analysis, Publisher Delta-3N Ltd., 2007, ISBN 978-963-06- 0806 0