

# ÁLLAPOTFÜGGŐ- ÉS KOCKÁZATALAPÚ KARBANTARTÁST SEGÍTŐ RENDSZER FELÉPÍTÉSE

## SYNTHESIS OF ADVISORY SYSTEM FOR PREDICTIVE- AND RISK BASED MAINTENANCE

*Baksai Gábor mérés- és laborvezető,  
Csete László Barnabás diagnosztika mérnök,  
Dr. Nagy István PhD. főiskolai tanár,  
Pap Norbert vezető diagnosztika – Delta-3N Kft.  
Kertay Nándor tribológiai szakmérnök – Tribologic Kft.*

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

### Abstract

This article introduces the results of a system development based on the vibration measurement technology of AzimaDLI. We give a review of the complex diagnostic system's capabilities. The complex diagnostic inspections range to the field of off-line and on-line vibration diagnostic, thermography, leakage detection, off-line and on-line oil inspection and ferrography. After this review we demonstrate how the system's advisory function is working and how it is based on the different diagnostic technologies to support PdM. We will also demonstrate the method of machine risk rating and the structure of the risk matrix which is the main component of RBM.

### Bevezetés

Az alábbi leírás röviden bemutatja azokat a szoftverfejlesztéseket, melyeket cégünk az állapotfüggő- és a kockázat alapú karbantartási rendszerek bevezetéséhez, és a fenntartásához szükséges gépállapotra vonatkozó információk biztosításához készített. Célunk az volt, hogy a különböző on-line és off-line diagnosztikai eljárások által szolgáltatott eredményeket egy felügyeleti rendszerbe integráljuk. A rendszer eredményessége abban rejlik, hogy képes olyan fejlett diagnosztikai eljárások eredményeinek integrálására, mint a rezgésanalízis, a termográfia, a használt olaj analízis, a ferrogáfia, valamint a szivárgás detektálás. Ezáltal átfogó képet biztosít a berendezések állapotáról. A komplex állapotfelügyeleti rendszer eredményei

alapján lehetővé válik a forgógépek kockázat alapú besorolása. Az alábbiakban bemutatjuk az automatikus állapotfüggő kockázati besorolás folyamatát, melynek eredménye a kockázati mátrixban jelenik meg.

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

### Középpontban a rezgésdiagnosztika

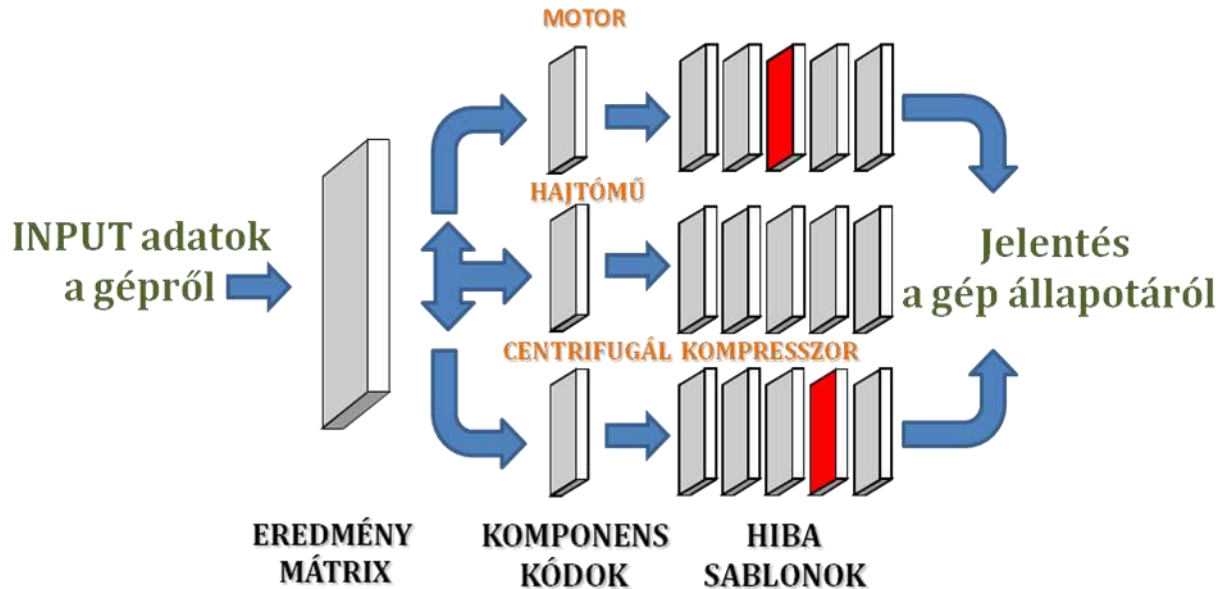
A rendszer alapját az AzimaDLI által kifejlesztett ExpertALERT gépállapot meghatározó kiértékelő szoftver biztosítja. Az ExpertALERT egy automatikus szabálybázisú rezgésdiagnosztikai szakértői rendszer. A következőkben röviden bemutatjuk működését.

Az AzimaDLI technológiája többek között az alábbi funkciókat képes:

- 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. Ez a komponens specifikus adatmátrix (Component Specific Data Matrix-CSDM) képezi a rendszer egyik alappilléret. Az egyes adatmátrixban található diagnosztikai szabályok több tízezer gép vizsgálata során kerültek meghatározásra, és finomodtak.



1. ábra: A szakértői rendszer szabálybázisának működési elve

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.



2. ábra: Triaxiális érzékelő mérőtuskóval

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-, rezgéssebesség-, 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, siklócsapágak
- Burkológörbe analízis, demodulált spektrum: gördülőelemes csapágak
- Teljes amplitúdó: teljes géphiba 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 960 különböző meghibásodása azonosítható.

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

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

**Downtown Service Pump #1**  
MID: 9  
Jelenítés készítve: 8/23/2010 01:38 PM  
Mintavételezve: 7/27/2004 06:45 PM 1xM = 17781/min Állagok: 3  
Hiba-tényező = 735.  
Maximum szint 113 [+12] VdB nél 1.00x on 3T

**JAVASLATOK:**

**KÖTELEZŐ: VÉGEZZÉK EL A MOTOR CSAPÁGYAK ZSÍRZÁSÁT, HA NEM JAVUL A GÉP CSERÉLJÉK KI AZOKAT**  
**FONTOS: CSERÉLJÉK KI A SZIVATTYÚ SZABADVÉG CSAPÁGYÁT, VÉGEZZÉK EL AZ OLAJCSERÉT**

**DIAGNÓZIS:**

**EXTRÉM MOTOR SZABAD VÉG CSAPÁGYLAZULÁS**  
**EXTRÉM MOTOR HAJTÁSOLDALI CSAPÁGYLAZULÁS**  
**SÚLYOS MOTOR TÁMCSAPÁGY PROBLÉMA**  
**SÚLYOS MOTOR HAJTÁSOLDALI CSAPÁGYKOPÁS**  
**SÚLYOS SZIVATTYÚ SZABAD VÉG GÖRDÜLŐCSAPÁGYKOPÁS**  
**KÖZEPES SZIVATTYÚ HAJTÁSOLDALI GÖRDÜLŐCSAPÁGY KOPÁS**  
**KÖZEPES MOTOR SZABAD VÉG CSAPÁGYKOPÁS**  
**KÖZEPES SZIVATTYÚ HAJTÁSOLDALI LAZULÁS VAGY CSAPÁGY HÉZAG PROBLÉMA**

**POZÍCIÓ FELIRAT**  
POZÍCIÓ 1 : Motor Free End  
POZÍCIÓ 2 : Motor Drive End  
POZÍCIÓ 3 : Pump Drive End  
POZÍCIÓ 4 : Pump Free End

3. Ábra: Rezgésdiagnosztikai szakértői jelentés

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.

A megbízható és komplett adatok gyűjtéséhez triaxiális rezgés gyorsulás érzékelőt alkalmazunk, amely a berendezés csapágaihoz a lehető legközelebbi mérési helyről a tér három irányába méri a rezgéseket. A megfelelő frekvencia csatolás és a pontos megismételhetőség biztosítása érdekében permanensen felszerelt mérőtuskókat alkalmazunk. Minden egyes mérőpontot vonalkóddal látunk el, amely elősegíti a gyors és pontos mérőpont azonosítást.

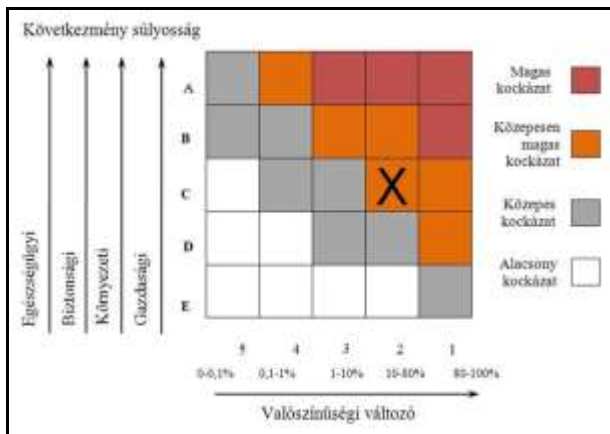
### Kockázati mátrix automatikus kockázati besorolással

Az általunk alkalmazott rezgésdiagnosztikai technológia megfelelő alapot biztosít a Kockázat alapú karbantartási stratégia bevezetéséhez.

A kockázat alapú karbantartási rendszer (RBM) fő jellemzői az alábbiak:

- Komplex következmény rendszert használ
- Felhasználja a műszaki diagnosztika eredményeit
- Együttesen veszi figyelembe a műszaki és gazdasági információkat
- Karbantartási munkák rangsorolásához a kockázati mátrixot használja

A kockázati mátrix használata a kockázatelemzés egyik gyakorlat-orientált megközelítése. A mátrix segítségével ábrázolják a kockázatot, mint a negatív hatású esemény bekövetkezési valószínűségének és a lehetséges negatív hatások (következmények) mértékének szorzatát.



4. Ábra: Kockázati mátrix elvi sémája

Kifejlesztettünk egy fél-kvalitatív kockázat becselő eszközt, a Risk Analyzert, amely a rezgésdiagnosztikai szakértői rendszer eredményeit felhasználva egy dinamikus kockázati mátrixban jeleníti meg a berendezés aktuális kockázati besorolását. A kockázati mátrix egyik oldalán az adott szempontrendszer szerinti 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

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. Közepesen 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 millió

2. táblázat: A kockázati következmény kategóriái

2. Kismértékű hatása lehet a költségekre, vagy az ütemtervre. Néhány nap is szükséges lehet a javításra
3. Közepes probléma, figyelemre méltó hatása 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. Katasztrófa szintű következmény, amelynek hatása túlmutat a cég keretein.

A kockázat valószínűségének meghatározására az ExpertALERT szabálybázisú szakértői rendszer által szolgáltatott automatikus gépállapot elemzés eredményeit használjuk. A szakértői rendszer által meghatározott hiba súlyosságát 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

A kockázati következmény besorolásánál figyelembe vesszük a személyek biztonságára és egészségére, a környezetre, és a gazdaságra ható következményeket, valamint a vállalat megítélését érintő következményeket is. Mindegyik következmény öt kategóriára van osztva a következmény súlyossága alapján. Szemléltetésként az alábbi táblázat összefoglalva mutatja a kockázati következmények egyes kategóriáinak egy lehetséges típusú szöveges megfogalmazását.

## Magyar Karbantartási Konferencia, MKK-2010, 2010. augusztus 30-31. Dunaújváros.

A fent említett következményszempontokon túl a forgógépek a technológiai láncban betöltött szerepük figyelembevételével kerülnek besorolásra. A besorolás pontosságát a nagy üzemi tapasztalattal rendelkező helyi szakemberek közreműködése biztosítja. A kockázati következmény kategóriák természetesen más szempontrendszer szerint is kialakíthatók, mindig az adott alkalmazási területhez szabhatók.

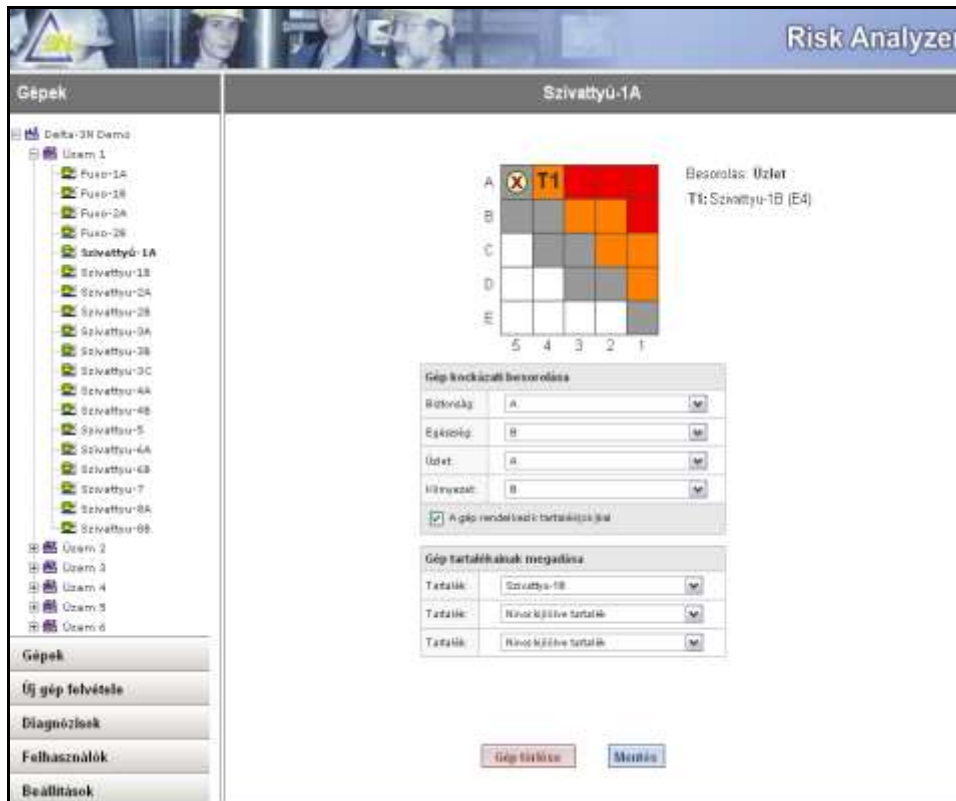
A következő lépés a kockázat különböző mértékeinek meghatározása a kockázati mátrixhoz. A mátrixban egyértelműen el kell különülnie az elfogadható és az elfogadhatatlan kockázatot jelentő mezőknek. A 3. táblázatban négy kategóriát definiáltunk a kockázat mértékének osztályozására.

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

A Risk Analyzer szoftver a korábbiakban részletezett módszer alapján képes az on-line, vagy off-line

diagnosztikai rendszer felügyelete alá tartozó forgógépek automatikus kockázati besorolására.

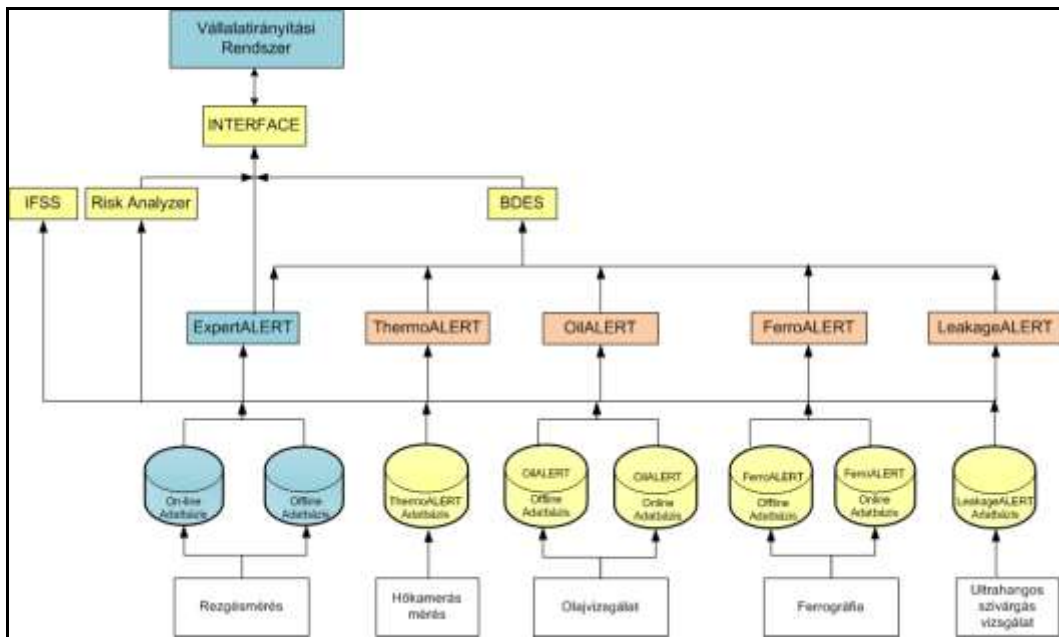


5. ábra: A Risk Analyzer

### Eredmények integrálása – BDES – Board of Diagnostic Expert Systems

A következő ábrán az integrált diagnosztikai rendszer elvi vázlatát látható. A különböző diagnosztikai technológiákhoz kifejlesztett szoftverek mindegyike 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.



6. Ábra: Az integrált diagnosztikai rendszer vázlata

A BDES megjelenítő felületén szín kódolva jelennek meg a kockázati besorolás, valamint az egyes szakértői rendszerek által készített jelentések eredményei,

amelyek az adott ikonra kattintva részletesen megtekinthetők.

**Board of Diagnostic Expert Systems**

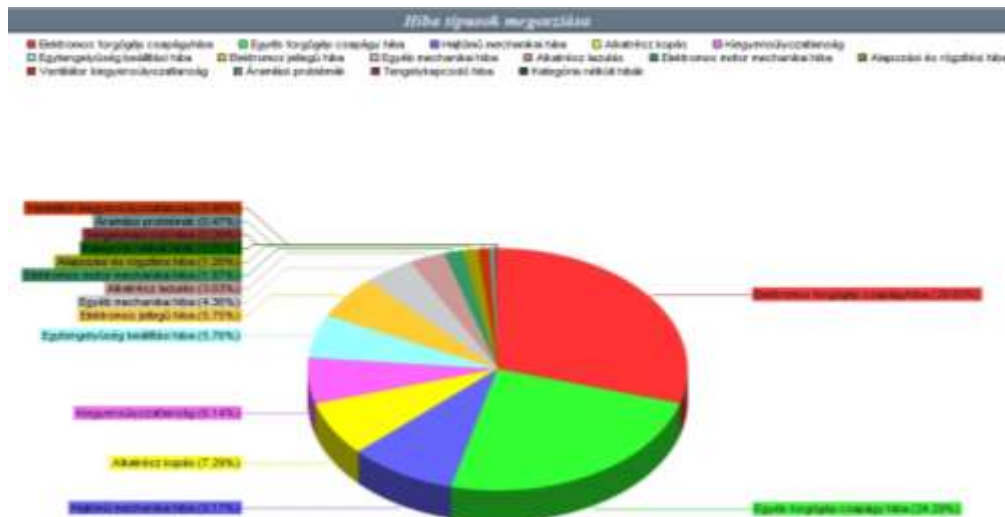
Gépek

- Offline adatbázis
  - Delta-3N Demo
    - Üzem 1
      - Fuwo-1A
      - Fuwo-1B
      - Fuwo-2A
      - Fuwo-2B
      - Szivattyú-1A
      - Szivattyú-1B
      - Szivattyú-2A
      - Szivattyú-2B
      - Szivattyú-2C
      - Szivattyú-3A
      - Szivattyú-3B
      - Szivattyú-3C
      - Szivattyú-4A
      - Szivattyú-4B
      - Szivattyú-5
      - Szivattyú-6A
      - Szivattyú-6B
      - Szivattyú-7
      - Szivattyú-8A
      - Szivattyú-8B
    - Üzem 2
    - Üzem 3
    - Üzem 4
    - Üzem 5
    - Üzem 6

Üzem 1

Gép	KB	Expert ALERT	Thermo ALERT	Leakage ALERT	Oil ALERT	Ferro ALERT	Megjegy.
Fuwo-1A	5	3	3	3	3		
Fuwo-1B	A4	3	3	3	3	3	
Fuwo-2A	A4	3	3	3	3	3	
Fuwo-2B	A5	3	3	3	3	3	
Szivattyú-1A	D5	3	3	3	3	3	
Szivattyú-1B	D4	3	3	5	5	5	
Szivattyú-2A	C5	2	3	3	3		
Szivattyú-2B	C6	3	3	3	3	3	
Szivattyú-3A	B5	2	3		3	3	
Szivattyú-3B	B5	3			3	3	
Szivattyú-3C	B5	2	3		3	3	
Szivattyú-4A	D5	2	3		3	3	
Szivattyú-4B	D3	4	3		3	3	
Szivattyú-5	E5	2	3		3	3	
Szivattyú-6A	D5	2	3		3	3	
Szivattyú-6B	D4	3	3		5	3	
Szivattyú-7	E4	3			3	3	
Szivattyú-8A	D5	3	3		3	3	
Szivattyú-8B	D5	3	3		3	3	

7. Ábra: BDES – Integrált megjelenítés



8. Ábra: IFSS –Hiba típusok megoszlásának statisztikája

### Döntéstámogatás statisztikákra alapozva - IFSS - Information & Fault Statistic System

Az IFSS (Information and Fault Statistic System) egy web alapú információszoftvert és statisztikai szoftvert, amely a leghatékonyabb és legköltséghatékonyabb módja, hogy a karbantartási döntéshozatalhoz szükséges információk eljussanak a megfelelő felhasználókhoz. A felhasználók hozzáférnek az automatikus szakértői jelentésekhez, a gépek trendjeihez, valamint a rezgésadatokhoz egy hagyományos web böngészőn keresztül. A replikációs technológia segítségével az egyes kiszolgáló gépek szinkronizálhatók a központi szerveren lévő adatbázissal, így folyamatos az adatfrissítés. Az aktív szerver adatbázisa elérhető a weben keresztül, ezáltal tetszőleges számú hozzáféréssel rendelkező felhasználó kérheti le az információkat anélkül, hogy saját szoftvert kellene vásárolnia.

Az IFSS statisztikai moduljának segítségével statisztikai analízisek készíthetők a hibák előfordulásáról különböző léptékekben. Lehetőség van gép, üzem, vagy akár a teljes gyár tekintetében vizsgálni a különböző hibastatisztikákat, illetve összehasonlíthatók az adatok más gyár, csoport, vagy helyszín adataival. Számos különböző statisztika készíthető a berendezésekkel kapcsolatban (pl. hibastatisztika, hibatípus megoszlás, állapot statisztika, mérések elmaradása, stb.), amelyek fontos segítséget nyújthatnak az állapotfüggő karbantartáshoz.

### Fejlesztési lehetőségek

A jövőben tervezzük a meglévő rendszer kibővítését, továbbfejlesztését, melynek során újabb diagnosztikai technológiák bevonását kívánjuk megvalósítani. Tervezzük egy on-line olaj és ferrográfiai modul kifejlesztését, amely képes fogadni és feldolgozni a különböző on-line olajállapot érzékelők által végzett mérések eredményeit. A beépített érzékelőknek köszönhetően lehetőség nyílna az olaj degradációjának, vízesedésének és kopási részecske tartalmának folyamatos nyomon követésére.

Tervezzük továbbá a motoráram analízisek, a videoszkópos és endoszkópos vizsgálatok integrálását is a rendszerbe.

### Összefoglalás

Az ismertetett rendszer több hazai vállalatnál is működik, folyamatosan történnek a mérések. A szoftverek adatbázisai nagyrészt már feltöltésre kerültek, az elemzések, a gépek állapotának értékelése folyamatosan történik. A rendszer eredményei megbízható alapot adnak a karbantartás tervezéssel foglalkozó szakemberek állapotfüggő-, illetve kockázat alapú karbantartási döntéseikhez. A megbízható és automatikus hiba diagnosztika és hiba súlyosság meghatározás lehetővé teszi az állapot függő karbantartás (PdM), valamint a kockázat alapú karbantartási stratégia (RBM) hatékony alkalmazását.

### Summary

The above introduced system is currently in use at numerous domestic companies. The databases of the softwares are completed and the measurements, the analysis, and the evaluation of machine condition is happening constantly. The results of the system offer a reliable foundation for maintenance experts for their predictive- and risk based maintenance designs. The dependable and automatic fault diagnosis and fault severity determination allows the efficient use of Predictive Maintenance and Risk Based Maintenance as well.

### Irodalomjegyzék

- [1] Alan Friedman, Expert Automated Diagnostic System, CaseHistory-NavyStudy, DLI Engineering Corp., 2004
- [2] Bill Watts and Joe Van Dyke Sr. An Automated Vibration-Based Expert Diagnostic System. Sound & Vibration, Machinery Monitoring, September, 1993.
- [3] Dr. Istvan Nagy, Condition Based Maintenance, Technical Diagnostics I, Vibration Analysis, Publisher Delta-3N Ltd., 2007, ISBN 978-963-06-0806 0
- [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, Jenő Szántó, Knowledge Based Surveillance Systems and Maintenance, 8th International Conference, Modern Technologies in Manufacturing MT&M 2007, Cluj Napoca Romania, 4-5 October 2007.

**Magyar Karbantartási Konferencia, MKK-2010, 2010. augusztus 30-31. Dunaújváros.**

[7] Istvan Nagy, Jenő Szántó and Károly Sólyomvári, How Does the Vibration Diagnostic System Work, Central European Forum on Maintenance, Vysoke Tatry, 9-10. 05. 2005.