

# KALICKÁS INDUKCIÓS MOTOR HIBADIAGNOSZTIZÁLÁSA REZGÉS ÉS MOTORÁRAM ANALÍZIS EGYÜTTES ALKALMAZÁSÁVAL

## FAULT DIAGNOSIS IN SQUIRREL-CAGE INDUCTION MOTORS USING VIBRATION AND CURRENT ANALYSIS JOINTLY

Dr. Ladányi Gábor\* ; Ladányi Gergő\*\*

### ABSTRACT

*The squirrel-cage induction motors are typical power source in mining industry. The application of condition based maintenance strategies rely on specialized monitors to reliably provide a measure of the health of the drive system. Thus, unexpected failures and consequent downtime may be avoided and/or the time between planned shutdowns for planned maintenance may be increased. Maintenance and operational costs are thus reduced.*

### 1. BEVEZETÉS

Az aszinkron (indukciós) motorokat, mint erőgépeket szakmai berkekben szokták a villamos hajtások „igáslovának” is nevezni. Az elnevezés nem túlzás, ha figyelembe vesszük, hogy korunkban egy iparosodott nemzet villamos energiatermelésének kb. 45-50%-át aszinkron motoros hajtások használják el.[1] Ezt az elterjedtséget alapvetően a rövidrezárt (kalickás) forgórészű kivitel kedvező tulajdonságaival magyarázhatjuk. Ezen motorok működési elve ugyanis lehetővé teszi a nyomaték képződését pusztán az által, hogy csak az állórész tekercselését tápláljuk meg a szükséges többfázisú váltakozó feszültséggel, és nincs szükség a forgórész vezetőihez nagyáramú csúszó kontaktusokon keresztüli hozzáférésre. Ezen túlmenően, a tekercselt forgórész helyett, az un. kalickás forgórész alkalmazása méretcsökkenést és javuló határfokot eredményez. Mindezek alkalmassá teszik ezt a motor típust olyan zárt, strapabíró felépítés kialakítására, ami ráadásul üzemideje alatt viszonylag kevés gondozást igényel. Előbbiek, bányászati alkalmazások esetén az alapvető elvárások közé tartoznak. (Azért igyekszünk gyorsan hangsúlyozni, hogy a viszonylag kevés gondozás és a gondozás mentesség kifejezések által képviselt tevékenységek nem egyenértékűek!)

A tápláló hálózat frekvenciájához kötött szinkron fordulatszám merevsége korábban akadálya volt annak, hogy fordulatszám-szabályozott hajtásokat, egyenáramú gépek közbeiktatása nélkül, közvetlenül aszinkron motorok segítségével valósítsanak meg. A teljesítmény-félvezetők fejlődésének eredményeként azonban ma már a szabályozott villamos hajtások területén is egyre több helyen és egyre nagyobb teljesítmény tartományban alkalmaznak egyenáramú motorok helyett, kalickás aszinkron motorokat. Ilyen esetben a tápláló háromfázisú hálózat és a motor közé egy kapcsolóüzemű energia átalakító eszköz kerül, szokás ezt röviden csak

frekvenciaváltónak nevezni. Az utóbbi berendezés ára általában paritásban van magának a motornak az árával. Illetve alkalmazása felveti a tápláló hálózat felharmonikusokkal való szennyezésének lehetőségét.

A kalickás forgórészű motorok alkalmazási területe teljesítmény tekintetében is igen széles tartományt fed le. Az ipari termelés legkülönbözőbb szegmensében, néhány W-tól több MW-ig terjedő tartományban találkozhatunk ezzel a motor típussal. A kisebb, néhány száz wattos tartományban általában a szabályozatlan hajtási alkalmazásoknál találkozunk nagy számban ezzel a típussal, alapvetően olcsósága miatt. A precízen, pl. pozícióra szabályozott hajtásokban átvette szerepét a léptetőmotor. A több száz kW fölötti tartományban a meghibásodásuk miatti, váratlan kiesés gyakran igen komoly üzemviteli problémát, termelés kiesést, tehát anyagi kárt okozhat, és esetenként okoz is. Éppen ez volt az a kényszerítő erő, amely kikövetelte valamilyen diagnosztikai eszköz, esetleg eszközök kifejlesztését, annak érdekében, hogy egy motor, elsősorban villamos jellegű meghibásodását megelőző állapot, diagnosztizálható legyen.

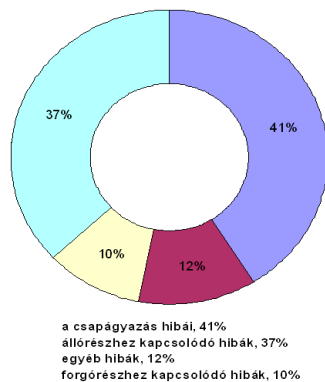
### 2. MEGHIBÁSODÁSOK

A motor típus fontosságának tudatában, az EPRI (Electric Power Research Institute) az ipar különböző területén üzemelő, közel 5000 meghibásodott motor adataiból készített statisztikát, amelyet 1985-ben publikált. A hibák megoszlását az 1. ábrán láthatjuk. A diagram mellé mindenképpen kiegészítés kívánkozik. Az adatok mellett, hogy az ipar különböző területén üzemelő motoroktól származnak, a motorok alkalmazási helye is szerteágazó volt. Ha szűkítjük a figyelembe vett területeket, pl. a minket jobban érdeklő bányászatra és kísérő ipágaira, a hibák megoszlása jelentősen módosul. [2] Megnö ugyanis a forgórészhez köthető hibák részaránya, miközben főként a csapágyazás hibája miatt bekövetkező leállások hányada csökken. Szakmai körben ismert tény, hogy az egyes hibatípusok megjelenési gyakorisága erősen függ a motor alkalmazási helyétől, mert az, döntően befolyásolja a motor üzemviszonyait. Tehát egyáltalán nem mindegy, hogy szivattyút, szállítószalagot, őrlőmalmot, vagy egy forgácsoló gépet hajtunk egy adott motorral. Üzemidejük során gyakran indított motorok esetén az állórészhez és forgórészhez köthető hibák közel azonos gyakorisággal jelennek meg. Különösen igaz ez, ha az indítások között jelentős a teljes terheléssel végrehajtott indítások száma. A bányászatban üzemelő, pl. szállítóberendezések esetében sajnos

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem

\*\*okl. villamosmérnök, evosoft Hungary kft.

kifejezetten jellemző a teljesen terhelt állapotban szükséges indítás. Emellett általában több száz kW teljesítmény igényű berendezéseket hajtunk, mozgatunk kalickás motorokkal. Ezek meghibásodás miatti kiesése a csere időtartamára, gyakran okozza egyben az üzem termelésének kiesését is.



1. ábra Meghibásodási okok megoszlása  
(forrás: MCE TM Motor Testing)

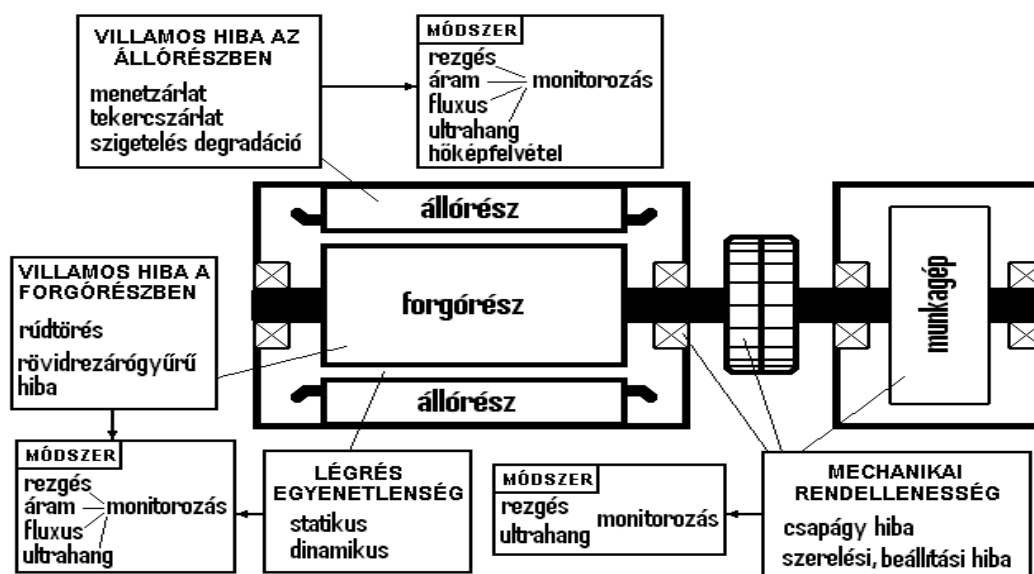
### 3. A DIAGNOSZTIKA ESZKÖZEI

A 80-as években elindult, majd a 90-es évek elejétől egyre nagyobb teret nyer hazánkban is a gépek állapotának megítélésére alapozott karbantartás. Ennek hatására a váratlan meghibásodások miatt keletkező károk észrevehető mértékben csökkentek. A 90-es évek második felétől újabb karbantartási koncepciók alakultak ki. Olyanok, mint az RCM (Reliability Centered Maintenance) és TPM (Total Productivity Maintenance) rövidítésekkel jelölt rendszerek. Ezen karbantartási rendszerek tárgyalása nem célja cikkünknek. (Ha a T. Olvasó meg szeretne ismerkedni ezek lényegi elemeivel, ajánljuk figyelmébe az irodalom listában a [3] és [4] jelű anyagot.) Mindkét rendszerre érvényes azonban, hogy a karbantartási igény eldöntése tekintetében alapoznak a gépnek, a működés során elért állapotára, és ennek megismeréséhez valamilyen diagnosztikai eszközt (eszközöket) alkalmaznak. Fenti rendszerek később kiegészültek azzal, hogy a felügyelt gépeket kockázatelemzés alá vonták, s ennek figyelembevételével alkották meg a megfigyelési stratégiát. A kockázatelemzés azt a felismerést juttatja érvényre, hogy egy negatív következményekkel járó esemény által hordozott kockázat a bekövetkezés valószínűségétől és az okozott kár nagyságától egyaránt függ. Tehát ott kell a legsűrűbben információt szerezni a felügyelt gép állapotáról, ahol mindkét tényező nagy. Vagyis a bekövetkezés valószínűségét és az okozott kár nagyságát kifejező mérőszámok szorzata a legnagyobb.

A kezdeti időkben a gép állapotának megítéléséhez szükséges információt elsősorban a géprezgésekből nyert adatok hordozták. Tehát a rezgésdiagnosztika, – hiszen ez a közismert neve – volt az első hatékony eszköz az állapotfüggő karbantartást alkalmazó üzemi szakemberek kezében. A kezdetek óta a rezgésdiagnosztika nyújtotta diagnosztikus képességek, sokat finomodtak. Elsősorban a különböző demodulációs technikák azok melyek megteremtik a lehetőséget egy-egy hiba kezdeti

felismeréséhez, de a szinkronizációval történő mérések is komoly támogatást adnak a különböző hibatípusok szétválasztásához. Emellett időközben megerősödtek a más mérési elvet használó információszerzési technikák is. Olyanok, – a teljesség igénye nélkül – mint pl. a termográfia, ultrahangos detektáció, olajdiagnosztika, illetve villamos gépek esetén a motoráram, vagy a fluxus analízis. Mindenképpen fontosnak tartjuk itt megjegyezni, hogy az előbb felsorolt módszereknél használt fizikai törvényszerűségek, illetve a feldolgozáshoz szükséges matematikai háttér alapjai már korábban is ismertek voltak. Nem állt viszont rendelkezésre az az elektronikai fejlettségi szint, amely mindennapos használatra alkalmas méretű és megfelelő számítási kapacitással rendelkező, megbízható eszközt adhatott volna a gyakorló szakemberek kezébe, olyan áron, amely lehetőséget teremt a tömeges elterjedésre. Mára az integrált áramkörök elemsűrűsége és a velük megvalósított áramkörök műveleti sebessége lehetővé teszi, hogy kéziműszer méretben olyan képességű eszközt használjunk, amit a 80-as években csak a nagyméretű, asztali készülékek tudtak. (Vagy még azok sem.) A fentebb felsorolt diagnosztikai módszerek alkalmazhatók önállóan is, de egymást kiegészítve működnek a leghatékonyabban. Az alkalmazott mérési elvekből fakad, hogy egy-egy diagnosztikus eszköz nem használható mindegyik gép esetében.

E tekintetben talán a rezgésdiagnosztika bír a legszélesebb alkalmazhatósági skálával. Leolvasható ez a 2. ábráról, amelyen összefoglalva láthatók a motorok esetében előforduló hibatípusok és a diagnosztikus eszközök, melyek segítségével a hibák detektálhatók. Az ábrán megfigyelhető, hogy rezgésméréssel az előforduló valamennyi rendellenesség észlelhető. Fontos itt megjegyezni azonban, hogy a különböző rendellenességek rezgésméréssel történő beazonosításának megbízhatósága erősen eltérő. Például a forgó gépeknél, így a motoroknál is előforduló leggyakoribb rendellenesség a kiegyensúlyozatlanság. Legyen az statikus, vagy dinamikus, rezgésméréssel jól beazonosítható, sőt a kiegyensúlyozatlanság mértéke jellemezhető számszerű adattal is. De a forgórészben előforduló olyan villamos hiba, mint a rúdtörés vagy más, a kalickában fennálló folytonossági hiba, detektálható ugyan, mint valamiféle hiba, de beazonosítása nehéz. A motor jelleggörbéje meredekségének csökkenése, tehát a karakterisztika lágyulása megerősítheti a forgórész körüli villamos probléma fennállásának lehetőségét. A lágyabb karakterisztika miatt megnő az üzemi szlip. Ez kevésbé zavaró, ha a szállítóberendezést csak egy motor hajtja. Komoly indítási probléma jelentkezhet azonban, ha több motorral hajtunk egy berendezést. A karakterisztika lágyulása a motorok között aszimmetrikus terheléeloszlást okoz, és ez főleg az indítási szakaszban fellépő többlet nyomaték igény szétosztásánál jelentkezik élesen. A nagyobb belső ellenállású motor kisebb nyomatékot képes szolgáltatni, mint az ép forgórészű, ezért az indítási folyamat időigénye megnő. (Rosszabb esetben a rendszer nem is képes felgyorsulni a névleges fordulatszámra.)



2. ábra Hibatípusok és diagnosztizálásuk eszközei

Ha tehát a rezgésmérés eredményéből levonható következtetés felveti a forgórész körüli villamos hiba lehetőségét, illetve üzem közben azt tapasztaljuk, hogy a motor szlipje megnőtt, miközben a motor terhelése nem haladja meg a szokásos értéket, célszerű kiegészíteni az ellenőrzést egy motoráram analízissel. Ennek során a motort tápláló hálózat legalább egy fázisában, – megbízhatóbb, ha mindháromban – áram-idő jelet érzékelünk és rögzítünk. Majd az időtartománybeli jelet DFT (Diszkrét Fourier Transzformáció) eljárás alá vonjuk. Az áramjel frekvenciatartománybeli képe alakulásából a motor álló-, és forgórész állapotára vonatkozó következtetések vonhatók le.

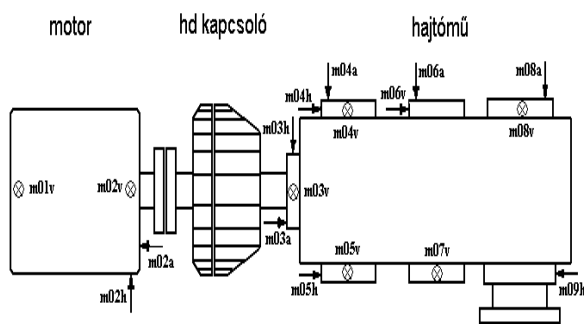
A motorok állapotának megítéléséhez a nemzetközi gyakorlatban kialakult és elfogadott normákat célszerű figyelembe venni. Ezek szerint a forgórész rúdjaiban fennálló bármilyen villamos aszimmetria, amit okozhat törés és/vagy az ellenállások különbözősége, aszimmetriát kelt a rotor forgó mágneses mezéjében. Az aszimmetria hatása a motort tápláló áram spektrumában is megmutatkozik, főként a hálózati frekvencia mellett megjelenő kétszeres szlipfrekvenciás komponensek jelenlétében. Az áramspektrumban ettől eltérő frekvencia tartományában mutatkozó jellegzetes összetevők más villamos hibára is utalhatnak, illetve mechanikus hibákat is jelezhetnek. Az előbbi lehet tipikusan az állórész tekercselésében fennálló, a menetzárlatot, vagy földzárlatot megelőző állapot. Az utóbbi pedig az álló- és forgórész közötti légrés egyenetlensége. fellépő menetzárlat miatt következik be, hanem azért mert a megelőző állapot viszonylag rövid ideig áll fenn. Ennek oka, hogy a bányászati A címben is szereplő bányászati alkalmazásoknál azonban az állórész zárlatot megelőző állapotának detektálása kisebb jelentőséggel bír, mint a már megfogalmazott forgórész körüli rendellenességeké. Nem azért, mert a motor váratlan kiesése által okozott anyagi veszteség kisebb, ha

a leállás, pl. az állórészben alkalmazott nagyobb teljesítményű (>100kW) motorok esetében a tápfeszültség általában 6kV. Ilyen feszültségszinten egy kezdődő, zárlatot megelőző állapot nem áll fenn sokáig. A legközelebbi terhelés alatti indítás alkalmával a nagy indítóáram miatti felmelegedés véglegesen lerontja a szigetelés állapotát a már sérült helyen, és bekövetkezik a zárlat. Így a hibamegelőző állapot detektálásának csak akkor van esélye, ha a motor folyamatos monitorozás alatt áll. Ez a bányászati iparágban nem csak Magyarországon, de a miénktől jelentősebb bányászati tevékenységet folytató országokban sem általános. Tengeri fűrőplatformokon üzemelő, gyakran több MW teljesítményű motoroknál találkozhatunk folyamatos felügyelettel. (Lásd a néhány bekezdéssel előbb, a kockázatelemzésen alapuló állapotfüggő karbantartásról mondottakat.)

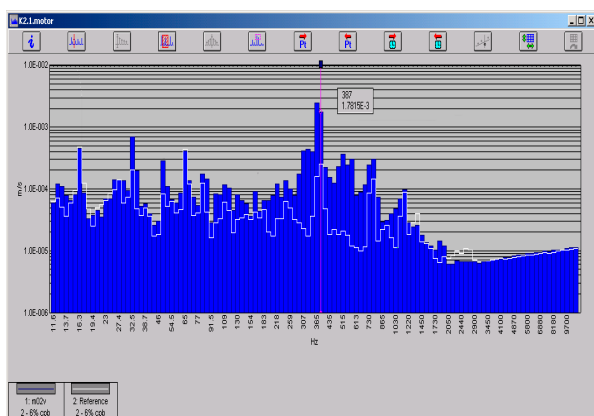
Ezen, bekezdésnyi kitérő után térjünk vissza a kétszeres szlipfrekvenciás komponensekhez. Ha ezek nagysága terhelt állapotban jelentősen meghaladja az üresjáratú értéket, és arányuk az alapharmonikushoz (50Hz) képest túl nagy, akkor van számottevő pulzáló összetevője a mágneses térnek és valószínűsíthető a forgórész körüli villamos aszimmetriája. Az áramok arányából levonható következtetéseket összefoglalva adja meg az 1. táblázat.

A forgórész kalicka állapota	Áram összetevők aránya [dB]	Megjegyzés
kiváló	≥ 60	
jó	54-60	
elfogadható	48-54	Ciklikus megfigyelés ajánlott
figyelmeztetés	42-48	Sérült forgórészrúd, és/vagy több nagyellenállású kontaktus
riasztás	< 42	Törött forgórészrúd, és/vagy több nagyellenállású kontaktus

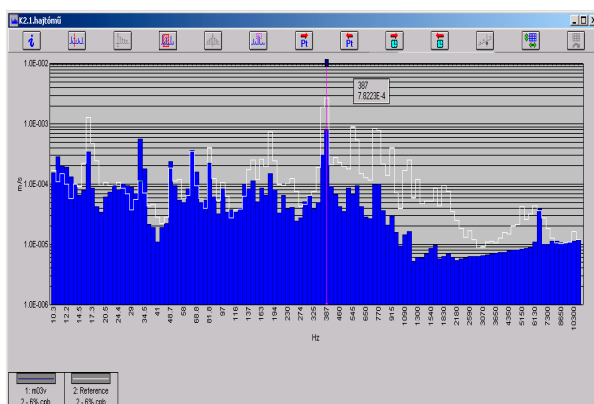
1. táblázat



3. ábra A szállítószalag hajtásegység elrendezési vázlatja



4. ábra Rezgésspektrum, a tengelykapcsoló motor oldalán



5. ábra Rezgésspektrum, a tengelykapcsoló hajtómű oldalán

A Megjegyzés oszlopban található következtetéseken túl, a törött rudak számának becslésére is találunk összefüggést az irodalomban. Jelen cikknek azonban nem célja a témakör ilyen mélységű tárgyalása. Miközben a táblázat központi oszlopában feltüntetett áramarány-értékeket tanulmányozzuk, hasonló kiegészítés megtétele szükséges, mint az 1. ábra esetében. A határértékek nagyszámú, különböző teljesítményű és felépítésű kalickás motoron végrehajtott mérés eredményeiből levont következtetéseket tükröznek. A bányászati berendezéseket mozgó motorok túlnyomó többsége kétkalickás, tehát külön indító és üzemi kalickával szerelt forgórészsel rendelkezik. A szerzők tapasztalata szerint ezeknél a gépeknél az 1. táblázat értékei elsősorban az indító kalicka állapotának megítélésénél vehetők figyelembe.

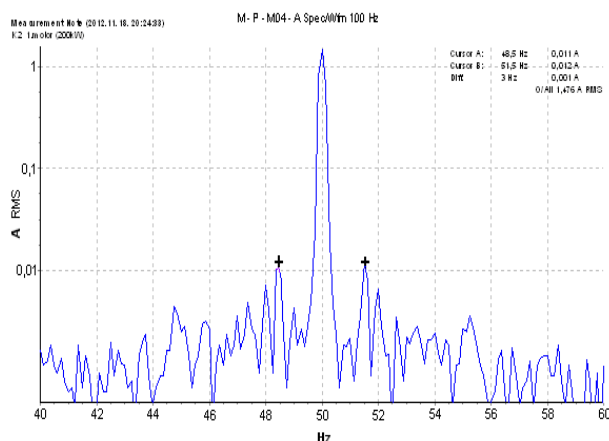
#### 4. ESETTANULMÁNY

A szerzők több éve végeznek diagnosztikai méréseket a Vértesi Erőmű Márkushegyi Bányauzemének berendezésein, többek között a szállítórendszert mozgó villamos motorokon, melyek 160-400kW teljesítmény tartományba tartozó lég-, egy-egy esetben vízhűtéses motorok. A szállítószalagokat általában kétdobos hajtások mozgatják, többnyire egy-egy hajtásegységgel. Ott, ahol a pálya teljesítmény igénye ezt megköveteli, három hajtásegységgel van szerelve a két hajtódob. A szállító rendszer alapvető tulajdonsága a soros felépítés, tehát bármely egység kiesése bénítja a szállítási tevékenységet. Ezért a bánya szakemberei a szállítószalagok hajtásegységeit rendszeres rezgésdiagnosztikai ellenőrzés alatt tartják. A pályák közül az egyik, a helyi jelölés szerint K2-es szállítópálya, amelynek két azonos felépítésű hajtásegysége van, hajtáselrendezési vázlatuk a 3. ábrán látható. A motorok névleges teljesítménye 200kW, névleges fordulatszáma 985 ford/perc.

A 4. és 5. ábra az 1. hajtásegység ütemezett ellenőrzése során készült rezgésspektrumok közül mutat kettőt, amelyek a hidrodinamikus tengelykapcsoló két oldalán található mérőpontokon (m02v és m03v) kerültek rögzítésre. Az ellenőrzés időpontjáig az 1. motor már több mint két éve futott ebben a hajtásegységben. A 4. ábra spektrumát tanulmányozva látható, hogy a kiegyensúlyozatlanság alacsony és a többi saját komponens is 1mm/s alatt van.

Felmerült azonban a gyanú, hogy a motoron kiemelkedő 387Hz-es komponens – ezen áll a kurzor – a hajtóműtől származik, mert ez a frekvencia a hajtómű első fogaskerék-párjának fogkapcsolódási frekvenciájához nagyon közeli érték. (Hajtóművek esetében a kúperék kapcsolat mindig jelentős energiájú rezgésforrás, még akkor is, ha a kapcsolódó kerekek fogfelülete nincs elhasználódva és a hézagolás is megfelelő.) Ugyanezen mérési ponton a szélessávú rezgéssebesség effektív értéke 3,5-7,2mm/s tartományban mozgott, függően attól, hogy mérés közben mennyire változott a terheltségi szint. Egy ilyen teljesítményű egységénél a 7,2mm/s már jelentős érték. Ezért egyben figyelmeztető is, mert olyan rezgésenergiát képvisel, ami lerövidíti, főként a csapagvak élettartamát. De a motorban más helyen is okozhat problémát, pl. az állórész tekercselésénél. A tekercselésben fellazíthatja ugyanis a vezetők rögzítését, és az egymással érintkező huzalfelületek egy-egy kritikus helyén ledörzsölődik a szigetelés. Ami szintén a motor élettartamának rövidülését okozza. Az sem általános, ha a terhelés változását ilyen mértékben követi a rezgés energiaszintjének változása. Egy „egészséges” motornál az 50-100% közötti terhelésváltozás nem okozza a rezgés effektív értékének megduplázódását. Az 5. ábrán az is megfigyelhető, hogy ezen, a hajtómű kúperék kapcsolódásának közelében levő mérési ponttól (m03v) származó spektrumon csak 0,78mm/s, míg a motoron 1,78mm/s nagyságú a 387Hz-es összetevő. Ha a forrás a kúperék-pár lenne, akkor a forráshoz közelebbi helyen, tehát a hajtóműnél kellene mutatkoznia nagyobb energiával ennek a komponensnek, nem pedig a motoron. Elmondottak miatt, a bánya szakembereivel egyetértve, motoráram analízist is végeztünk a K2-es pálya érintett motorján. A terhelés alatt üzemelő motor áramának 50Hz

körül, nagy felbontással készült spektrumát a 6. ábra mutatja. Az áram frekvenciatartománybeli képe igazolta a rezgésmérések által megfogalmazott gyanút. A kétszeres szlipfrekvenciás komponensek – ezeken áll a két kurzor – által képviselt áramhányad jelentős. Az 50Hz-es alapfrekvenciához képesti viszonyuk ~42dB. Az 1. táblázat besorolása szerint ilyen szlipfrekvenciás áramszint esetén már biztos, hogy vannak a kalickában törött rudak – tehát több is – és az üzem közben fellépő egyenetlen hőterhelés miatt a kötések sok helyen átkristályosodtak. E tekintetben leginkább veszélyesek azok a helyek, ahol a pálcák kapcsolódnak a rövidrezáró gyűrűkhöz. Itt ugyanis kevésbé érvényesül a forgórész vastestének hőelvezető, hűtő hatása, és a hősokk miatt fellépő mechanikai feszültség idővel törést okoz. Ez jól látható a 7. ábrán, amely a szétszerelt motor forgórészének egy részletét mutatja. A karikázott részleteknél egyértelműen beazonosíthatók a rövidrezáró gyűrűkből kitört pálcavégégek.



6. ábra A vizsgált motor áramspektruma

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

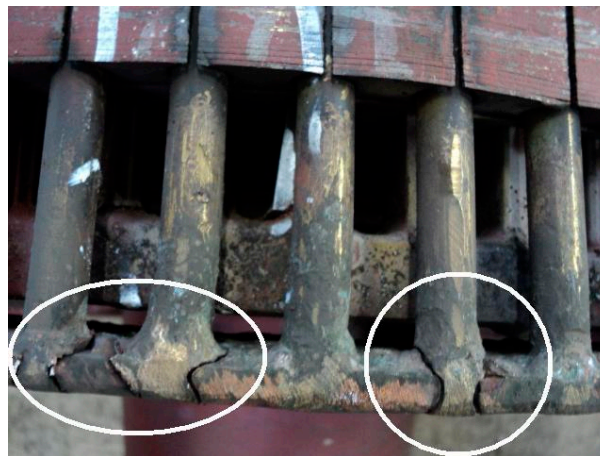
A bemutatott eset megerősíti azt a korábban már megfogalmazott megállapítást, hogy több diagnosztikai módszer együttes alkalmazása jelentősen megnöveli egy ismeretlen hiba beazonosításának valószínűségét. Indukciós motorok esetében, mint láttuk, jól kiegészíti egymást a rezgés és motoráram analízis.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

- [1] W.T. Thomson, R.J. Gilmore: Motor Current Signature Analysis to Detect Fault in Induction Motor Drives – Fundamentals, Data interpretations, and Industrial Case Histories; Proceedings of the Thirty-second turbomachinery symposium, 2003
- [2] O.A.Thorensen, M.Dalva: A Survey of Fault on Induction Motors in Offshore Oil Industry, Petrochemical Industry, Gas Terminals, and Oil Refineries; IEEE Transaction on Industry Applications; Vol.31.; No.5. Sept/Oct 1995



7. ábra Forgórész, a rövidrezáró gyűrűkből kitört pálcavégégekkel

Ezen utóbbi módszer, bányászati alkalmazásoknál különösen javasolt. Nem igényel ugyanis komoly előkészületet. A motorok mérés közbeni terhelése többnyire biztosítható, mert a mozgatott berendezések üzemidejük nagyobb részét nem üresjáratban futják. A szóban forgó teljesítmény tartományba tartozó motorok tápláló hálózata pedig úgy van kiépítve, hogy a motort kiszolgáló rendszerben kijelzik, estenként regisztrálják is a motorok áramát. Az ehhez beépített áramváltó szekunder oldalán minden nehézség nélkül mérhetünk, betartva természetesen a szükséges biztonsági szabályokat.

Másrészt megerősíti azt a gyakorlatot is, amelyet a Márkushegyi Bányászati szakemberei már több éve folytatnak, az üzem termelését jelentősen befolyásoló gépek felügyelete tekintetében. A szerzők tisztában vannak azzal, hogy a berendezések korábbiól hosszabb, váratlan hibáktól mentes üzeme, vagy legalább egy ezt megközelítő állapot csak úgy érhető el, ha a diagnosztika és az üzemi szakember, aki a géphez legjobban ért szorosan együtt dolgozik, felismerve a közös érdeket. Ezért ezúton is megköszönik azt a nyitott hozzáállást és segítséget, amit a Márkushegyi Kollégák a mérések előkészítése és végrehajtása közben, majd a mérések kiértékelése alatt tanúsítottak.

- [3] Péczeli Gy.: Korszerű karbantartási rendszerek, hazai eredmények, A.A.Stádium kft.
- [4] Péczeli Gy.: Miért magasabb rendű a „T” az „R”-nél? Lezárt kérdés a karbantartási rendszerek fejlődésében, A.A.Stádium kft.
- [5] W.T. Thomson: A review of on-Line condition monitoring techniques for three phase squirrel-cage induction motors, past present and future
- [6] P.J.Tamer; J.Penman: Condition monitoring of electrical machines, Research studies press Ltd. Wiley, New York