

Fenyvesi Csaba¹ – Pokorádi László²

ÜZEMELTETÉSI FOLYAMAT KOCKÁZATÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK ELEMZÉSE³

*Technikai rendszerek üzemeltetés megbízhatóságára, valamint az üzemeltetése során fellépő kockázatokra az adott be-
rendezés vagy rendszer gyártásától egészen a rendszerből való kivonásáig, esetleg újrafelhasználásig minden részfolya-
mat befolyással bír. A jövőbeni kockázatok csökkentésének egyik fő eleme a már bekövetkezett kockázati események
(katasztrófák, balesetek, üzemzavarok, meghibásodások) kivizsgálása. Ezen elemzések során fontos kérdés, a körülmé-
nyek, kiváltó okok pontos, körültekintő meghatározása és az azokból levonható következmények leírása. Jelen tanulmány
az üzemeltetési folyamat kockázatára befolyással bíró tényezőket elemzi egy eset tanulmány példáján keresztül.*

INVESTIGATION OF DETERMINANTS OF OPERATIONAL RISK

*From manufacturing to condemnation of technical systems, reliability and risk of their maintenance are influenced
by all operational sub-processes. For reducing future hazards the investigation of risk situations (catastrophes,
accidents, breakdowns, failures) is a very important task. It is an important issue the accurate determination of
efficient causes and deduce conclusions from them. This papers investigates causes of risk of maintenance process
by analysis of a case study.*

1. BEVEZETÉS

A szervezetek egyik alapvető célja a működőképességük legmagasabb szinten tartása. Ennek egyik fontos eleme a humánerőforrás, valamint az infrastruktúra működőképességének megőrzése. Na-
gyon fontos kérdés a működőképességet veszélyeztető kockázatok megelőzése, illetve csökkentése,
azaz a kockázatok kezelése. A kockázatkezelésre, illetve kockázat értékelésre többféle lehetséges
módszer létezik. Mindegyik módszernek az a közös eleme, hogy a felmerülő kockázatokat, illetve
annak következményeit, illetve kiváltó okait valamilyen módon megpróbálja rangsorolni.

A jövőbeni kockázatok csökkentésének egyik fő eleme a már bekövetkezett kockázati esemé-
nyek (katasztrófák, balesetek, üzemzavarok, meghibásodások) kivizsgálása. Ezen elemzések
során fontos kérdés, a körülmények, kiváltó okok pontos, körültekintő leírása és az azokból
levonható következmények leírása. Általánosan jelentős problémát okoz, hogy az adott vizsgált
eseményhez kötődő személyek – az esetleges személyes felelősség okán – ellenérdekeltek.

A kockázatkezelésre mind objektív mind szubjektív módszerek állnak rendelkezésünkre. Az első

¹ okleveles gépészmérnök, energiagazdálkodási-, reaktortechnikai szakmérnök, Paksi Atomerőmű Zrt.,
fenyvesic@npp.hu

² egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

³ Lektorálta: Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens, PhD, katonai műszaki tudományok, Nemzeti Köz-
szolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tan-
szék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

esetben szükség van megbízható adatforrásra, időre, technikai háttérre, amelynek feldolgozását a matematikai eszköztár biztosítja. Szubjektív döntés esetében a döntéshozó az intuícióna, tapasztalatára, ismeretére, egyéni preferenciákra támaszkodik. Ezért szükséges olyan módszertani eljárások kidolgozása, amelyek alkalmazásával a döntéshozó képes a kockázatok elkerülésére, csökkentésére.

Az üzemeltetés megbízhatóságra, valamint az üzemeltetése során fellépő kockázatokra az adott termék, berendezés vagy rendszer gyártásától egészen a megsemmisítésig, esetleg újrafelhasználásig minden részfolyamat befolyással bír [7]. Nem lehet különválasztani az egyes elemek vagy folyamatok részjellemzőit, hanem komplex módon kell vizsgálni, és értékelni a megbízhatóságot. Az üzemeltetési folyamat során fellépő kockázatokat, ha különválasztani nem is, de csoportosítani mindenképpen szükséges. Fontos kérdés a fő-okok, okok és gyökér-okok egymásra hatásának, együtthatásának elemzése is. Ne feledjük el, hogy – mint azt a tanulmány későbbi részében is tapasztalhatjuk – nem elegendő egyetlen kiváltó ok megjelenése egy kockázati esemény kialakulásához. Általános érvényű megállapítás, hogy egy kockázati esemény kialakulását minimum három-öt kiváltó gyökér-ok egyidejű megjelenése szükséges.

Egy nem kívánt eseményt kiváltó okok felderítésére több módszer áll rendelkezésünkre. Ilyen például a hibafa elemzés (FTA – Fault Tree Analysis), Ishikawa elemzés, hibamód és hatás elemzés (FMEA – Failure Mode and Effect Analysis) [4].

A hibafa-elemzés során egy feltételezett rendszerhibából, az úgynevezett főeseményből (Top Event) indulunk ki, és fokozatosan derítjük fel azokat az alkotóelem és részrendszer meghibásodási lehetőségeket, melyek az adott, nem kívánt esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek. Az elemző munkát fastruktúrájú gráf megjelenítés segíti, amit különböző, például megbízhatósági számításokkal is ki lehet egészíteni [5].

Ishikawa, vagy más néven halszálla elemzés során is egy fastruktúrájú gráfot kapunk, mely szintén az elemi kiváltó okokat mutatja meg. De, ekkor „hal” gerincéből leágazó fővonalak végein lévő blokkokba írjuk be a fő-okokat, majd ezekből a vonalakból szállakyszerűen leágazó vonalak mellé az egyes gyökér-okokat [4].

Az FMEA egy olyan elemzéses módszertan melyet azért alkalmaznak, hogy a lehetséges problémákat azonosítsák. Tulajdonképpen a nem kívánt események, hibák, és hatásainak, valamint azok okainak a rangsorolt bekövetkezés gyakorisága, a következmény súlyossága és a detektálhatóság vizsgálatával [3].

Vizsgálatunk célja egy korábbi kockázati esemény részletes elemzésén keresztül rávilágítani az üzemeltetési folyamatok kockázatát befolyásoló tényezőkre.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a vizsgált esetet és annak szakmai környezetét is írja le. A 3. fejezet az esemény részletes elemzését mutatja be. A cikk 4. részében következtetéseket és ajánlásokat fogalmazunk meg. Végezetül a munka összefoglalása olvasható.

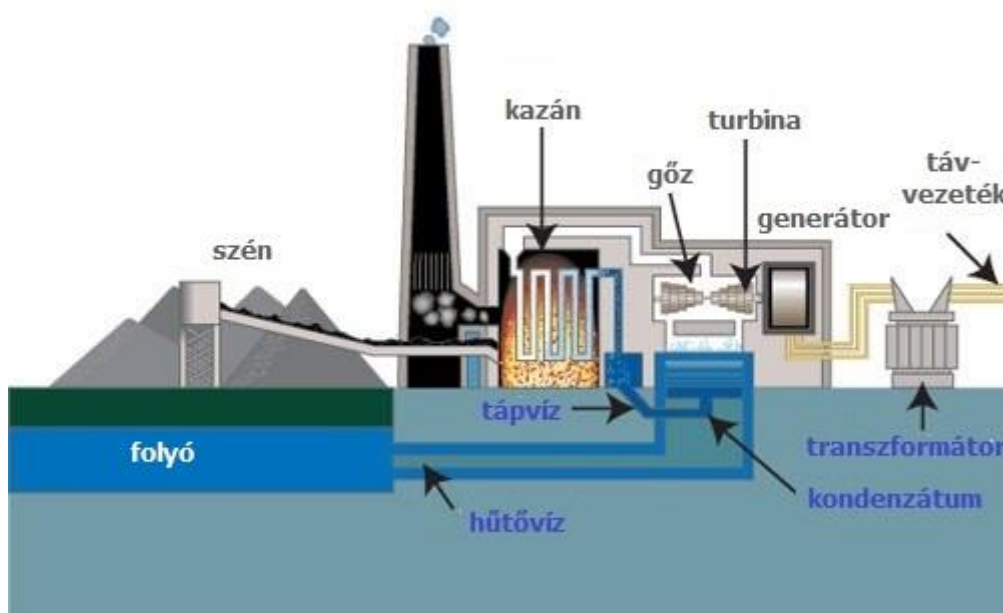
3. AZ ESEMÉNY LEÍRÁSA

A tanulmányban bemutatásra kerülő esettanulmányban egy erőművi hűtővíz szivattyú meghibásodási folyamatán keresztül a lehetséges kockázatok és következmények üzemeltetésre vonatkozó hatásait kívánjuk bemutatni.

Az 1. ábrán egy gőzös, kondenzációs villamos erőmű általános felépítése látható. A villamos energiát a generátor állítja elő, amit gőzturbina hajt meg. A gőzturbina meghajtásához szükséges gőzt valamilyen gőztermelő berendezés biztosítja. A hőtermelő berendezés lehet szénkazán, gázkazán, olajkazán, atomreaktor, gázmotor kipufogó rendszere, gőzturbina gázelvezető rendszere stb. összességében minden olyan berendezés, amely stabilan tudja biztosítani a gőz előállításához szükséges hőteljesítményt. A gőzturbinában munkát végző gőz a gőzturbinán áthaladva biztosítja a generátor forgatásához szükséges teljesítményt s ennek hatására belső energiataralma lecsökken. A lecsökkent energiataralmú gőz a gőzturbinát elhagyva a kondenzátorba jut, ahol a hűtés következtében cseppfolyósodik, vízzé alakul. Innen a kondenz-, és tápvíz szivattyúk juttatják vissza a gőztermelő egységbe, ahol ismét gőzzé alakul át s ezáltal a körfolyamat zárul, illetve újból elindul.

A kondenzátorban a gőz kondenzációjához hőelvonás szükséges, amit az 1. ábra alapján a folyóból kiemelt hűtővíz biztosít. A folyóból a hűtővizet a kondenzátor hűtővízszivattyú szállítja csővezetékeken keresztül. A folyóból kiemelt víz a kondenzátorban a hőelvonás következtében felmelegszik majd felmelegedve jut vissza a folyóba.

A hőtermelő berendezésben felszabaduló hőteljesítmény egy részéből hasznos villamos energia keletkezik, a másik része, a kondenzációs körfolyamat tulajdonságából eredően, energetikai célra már nem hasznosítható hőmérsékletszinten a környezetbe (jelen esetben a folyóba) távozik. [1]



1. ábra Villamos erőmű általános felépítése [6]

A hűtéshez szükséges vízmennyiséget, gazdaságossági és üzembiztonsági megfontolások miatt, jellemzően két szivattyúval célszerű biztosítani.

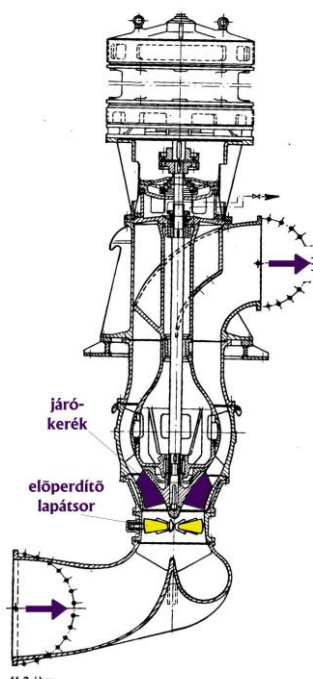
A magyar frissvízhűtésű erőművek GANZ által tervezett és gyártott MJO típusú szivattyúkat használnak erre a célra [2]. A 2. ábrán egy MJO típusú kondenzátor hűtővízszivattyú keresztmetszete látható.

Az MJO szivattyú szárazaknás, félaxiális, előperdítő lapátsorral ellátott szivattyú. A szivattyú forgatását aszinkron villamos motor látja el, közvetlen hajtással. A villamos motorok gyártója szintén a GANZ volt, a motorok típusa FVBZ. Az MJO szivattyúk névleges villamos teljesítménye 2,0-3,5 MW között változik.

Az esettanulmány egy ilyen kondenzátor hűtővízszivattyú meghibásodásának körülményeit mutatja be.

A hűtővíz szivattyúk fontos elemei a villamos energiatermelési folyamatnak. A szivattyúk meghibásodása vagy üzemképtelensége az erőmű energiatermelési folyamatában a hőelvonási funkció csökkenését vagy megszűnését eredményezhetik, emiatt lényeges a szivattyúk folyamatos állapotfigyelése.

Ennek legegyszerűbb módja a szivattyúk távfelügyelete egy központi vezénylőteremből. A távfelügyelet nem pótolja a helyszíni gépész ellenőrzést, de e berendezések megbízhatósága nem is igényli a folyamatos helyszíni jelenlétet. Megfelelően kiválasztott paraméterek segítségével a távfelügyelet, kiegészítve az időszakos gépész helyszíni ellenőrzésekkel megfelelő üzemeltetési megbízhatóságot eredményez.



2. ábra MJO szivattyú keresztmetszeti rajza (forrás: [2])

Ezen szivattyúk esetében melyek lehetnek azok a paraméterek, amelyek megfelelő mennyiségű információt nyújtanak az üzemviteli személyzetnek?

Jellemzően ezek a paraméterek a dinamikusán változó értékek, például különböző nyomások, hőmérsékletek, rezgésértékek, hűtő- és kenőfolyadék szintek.

Az MJO szivattyúk esetében a távfelügyelettel mért paraméterek:

1. villamos motornál
 - 1.1.1. felső olajkenésű csapágy fémhőmérséklet
 - 1.1.2. felső olajkenésű csapágy olajhőmérséklet
 - 1.1.3. felső olajkenésű csapágy olajsint
 - 1.1.4. alsó zsírkenésű csapágy fémhőmérséklet
 - 1.1.5. áramfelvétel
2. szivattyúnál
 - 2.1.1. szívóoldali nyomás
 - 2.1.2. nyomóoldali nyomás
 - 2.1.3. olajkenésű támcsapágy fémhőmérséklet
 - 2.1.4. előperdítő lapátsor állásszög

A szivattyúk távfelügyelete a Hűtővízszivattyúk vezérlőtermében történik, ahol a vezénylőtermi operátor és terepi gépész látja el a szivattyútelep felügyeletét. Az operátor folyamatos felügyelet alatt tartja a vezénylőteremben lévő jelzéseket, míg a gépész ciklikus és eseti terepi (helyszíni) ellenőrzéseket végez. Az operátor a mért paraméterek tényleges értékét, hihetőségét, helyességét ellenőrzési adatlap alapján óránként ellenőrzi, az értékeket az ellenőrzési adatlapra rögzíti. Ezen felül előre meghatározott értékekre beállított automatikus figyelmeztető és védelmi rendszer felügyeli a berendezések és rendszerek működésének helyességét. Ha egy adott, mért paraméter az előre meghatározott határértéket eléri, akkor figyelemfelhívó fény és hangjelzés keletkezik, figyelmeztetve az operátort a rendellenességre. Ekkor az operátornak az adott berendezésre vagy rendszerre vonatkozó kezelési utasításban leírtak szerint kell eljárnia.

A vizsgált esemény során a kondenzátor hűtővízszivattyú villamos motor felső csapágya hibásodott meg.

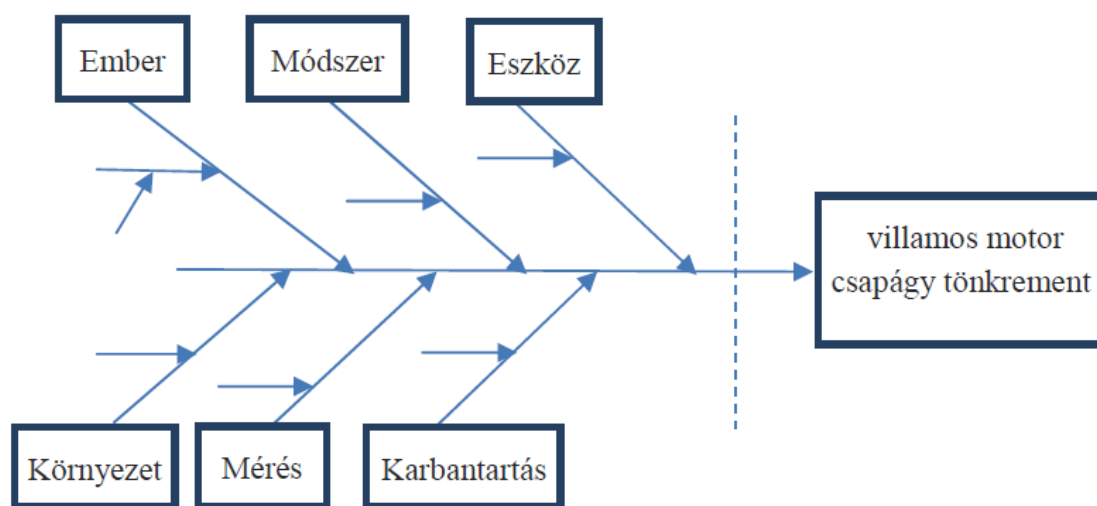
A konkrét, mért értékek alapján a villamos motor felső csapágyának fémhőmérséklete a hajnali két órás ellenőrzéskor 36 °C-t mutatott, az ezt követő három órás ellenőrzéskor ez a hőmérséklet 55 °C volt. Mivel ez az érték a 90 °C-os beavatkozási érték alatti az operátor a korábbi értékekkel összehasonlítva a 19 °C-os hőmérsékletváltozást kis jelentőségű eseménynek nyilvánította, de az előző órákban beírt értékek igazságtartalmában is elbizonytalanodott. A következő, négy órás ellenőrzéskor a hőmérséklet továbbra is 55 °C-t mutatott, ami az operátort megerősítette a hajnali egy és kétórás adatok 36 °C-os értékeinek helytelenségében. A négy órás beírás után kb. 20 perccel „a villamos motor felső csapágy olajhőmérséklet 80 °C-os” fény és hangjelzés jelezte, hogy az olajhőmérséklet megemelkedett. A jelzés nyugtázható volt, de nem volt törölhető, ami azt bizonyította, hogy a jelzés a mérőrendszer szempontjából jogosan jött és továbbra is fennállt. A csapágyfém hőmérséklet ekkor 131 °C-ot mutatott. A gépész ezután a helyszínen ellenőrizte a villamos motort és megállapította, hogy a felső csapágy olajsint jelzőjén az olajsint normális, határértéken belüli, sem túl alacsony, sem túl magas szintet nem mutat, viszont a csapágnak rendellenes hangja van. Nem sokkal ezután a villamos motor „alacsony olajsint” fény és hangjelzés jelentkezett a vezénylőteremben, amely szintén nyugtázható volt, de törölhető nem. Ekkor a rendellenes csapágyhang már határozottan hallatszott. A kezelési utasításnak megfelelően a szivattyút az operátor rövidesen leállította, amikor is a villamos motor felső csapágy hőmérséklet 147 °C-ot mutatott.

A csapágy szétszerelése után a karbantartó személyzet megállapította, hogy a csapágyból az olaj elfolyt és a csapágy szárazon futása miatt emelkedett meg csapágyfém és az olaj hőmérséklete továbbá ez eredményezte a rendellenes hangokat is. A csapágy a szárazon futás következtében további üzemre alkalmatlan lett, cserélni kellett.

3. AZ ESEMÉNY ELEMZÉSE

Az ok-okozati összefüggések feltárásához az Ishikawa módszert alkalmazzuk. Az ok-okozati diagram célja, hogy megismerjük az összes olyan okot, ami az okozott probléma elkerülését eredményezi vagy másképpen megfogalmazva, ha az összes okot nem ismerjük, akkor nem tudjuk megakadályozni a probléma ismételt megjelenését.

Az okozat a vizsgálatunkban a szivattyú villamos motorcsapágy tönkremenetele. A kérdés az, hogy milyen okok vezethetnek a csapágy sérüléshez és, hogy ezeket az okokat, hogyan tudjuk úgy kezelni, hogy az a jövőben ne okozzon hasonló meghibásodást. Cél, hogy a lehető legmélyebb vizsgálatot végezzük el, az okok gyökeréig kell eljutni.



3. ábra Ishikawa diagram felépítése

A vizsgálat szempontjából a fő okoknak az Ember, Módszer, Eszköz, Környezet, Mérés, Karbantartás lett kiválasztva. Az esemény körülményeit a szerzők, szakmai tudásuk és tapasztalatuk alapján, e fő-okok mentén a gyökér okok szintjéig elemezték.

Az alábbi felsorolás az Ishikawa diagram felosztása alapján, de nem a megszokott ábrázolási formában mutatja a főokok-okok egymásra épülését.

Kiindulásként az okozatot kellett megfogalmazni, ami jelen esetben a csapágy tönkremenetele volt.

A felsorolás jellegű „okozat”-„fő-ok”-„ok”-„gyökér-ok” elemzés részeredményei láthatóak az 1–6. táblázatokban, fő-okokként külön, az okok és gyökér-okok megadásával.

Okozat: a villamos motor felső csapágy tönkrement.

Az elkészült Ishikawa diagram alapján megállapított ok-okozati összefüggések részletesebb leírását is célszerű elvégezni az utólagos értelmezési problémák elkerülése végett.

3.1. Az emberi tényező elemzése

Az „Ember” fő-ok szerint mindazon személyzet érintett, akiknek valamilyen hatása lehet az okozathoz. Az érintettek ebből következően az operátor, a gépész, az operátor és a gépész közvetlen vezetője a műszakvezető és az adott szervezeti egység vezetője a csoportvezető. Az érintett személyzetet olyan szintig kell számba venni, ameddig az ok és az okozat közti összefüggés tetten érhető. Jelen esetben a csoportvezetői szint az, akinek a tevékenysége érdemben és kimutatható módon a csapágymeghibásodással összefüggésbe hozható.

<i>Ember</i>	
operátor	▪ figyelmetlenség ▪ információ továbbítás elmaradása a gépész és a műszakvezető felé ▪ nem megfelelő trendelemzési képesség ▪ hiányos szakmai alapismeretek
gépész	▪ fedőellenőrzés hiánya ▪ nem kellő mélységű informáltság az operátortól ▪ nem ismert csapágyszag kialakulása
műszakvezető	▪ nem kellő mélységű informáltság az operátortól
csoportvezető	▪ hiba felismerési, elhárítási gyakorlat nem kellő hatékonysága ▪ gépész fedőellenőrzés előírásának hiánya

1. táblázat Az „Ember” fő-ok okai és gyökér-okai

Az operátor esetében négy gyökér-ok került meghatározásra. Az első a figyelmetlenség volt. Kellő odafigyeléssel a csapágymeghibásodás elkerülhető lett volna. Ha egy hőmérséklet több mint 50%-kal, közel 20 °C-ot változik, akkor annak okát fel kell deríteni és következményeit át kell gondolni. Ebben az esetben az operátor a változás iránt nem fordított kellő figyelmet és nem volt elég alapos, hogy összehasonlítsa a korábbi adatokkal és a többi hasonló szivattyú csapágyszagmértékleteivel. Emiatt nem jelezte sem a gépész, sem a műszakvezető felé a problémát vagy a feltételezett problémát, így nem volt lehetőség a kollektív tudás kihasználására sem, miközben ismert tény, hogy a kollektív gondolkodás az esetek többségében sokkal célravezetőbb és hatékonyabb az egyéni gondolkodásnál.

A figyelmetlenség, mint gyökér-ok szerepel az elemzésben, mindazon által, hogy a figyelmetlenségnek lehettek kiváltó okai, így a figyelmetlenség, mint gyökér-ok tovább bontható. Ellenben az, hogy a figyelmetlenség az emberi természet velejárója és a legtöbb emberi hiba figyelmetlenségből adódik még ideális körülmények között is, ezért érdemes gyökér okként kezelni.

Az okozat operátori gyökér oka lehet még a nem megfelelő trendelemzési képesség vagy a hiányos szakmai alapismeret. Az operátori munkakör leggyakoribb tevékenysége a megfigyelés, az üzemeltetett rendszer adatainak elemzése, értékelése. A kiváló minőségű operátori tevékenység nemcsak az adatok egyszerű határértékhez történő összehasonlítását, hanem annak határértéken belüli változását, a változás mértékének, irányának, módjának elemzését is magába foglalja. Röviden ezt trendelemzésnek lehet nevezni. Trendelemzést csak jól felkészített személyzet tud meg-

felelően végrehajtani, hiszen ismerni kell az adott berendezést vagy rendszert, a végbemenő alapvető fizikai folyamatokat, a lehetséges beavatkozási lehetőségeket, a meghibásodás és az elhárítás kockázatát, a berendezés vagy rendszer dinamikus viselkedését, fizikai, mechanikai korlátait.

Egy meghibásodás korai felismerése mind gazdasági, mind biztonsági szempontból fontos. A jól megtervezett előjelzések, retesz- és védelmi értékek optimális üzemeltetést tesznek lehetővé. Ellenben a tervezés során, a tervezőasztalon a minden igényt kielégítő jelzőrendszer megállapítása korlátos. A tervek általában nem tartalmazzák a minden igényt kielégítő jelző- és adatgyűjtő rendszereket, aminek oka lehet például a rendszer dinamikai viselkedésének ismerethiánya, a leendő üzemeltető személyzet szakmai felkészültségének mértéke, a rendelkezésre álló költségkeret, a tervezői felkészültség hiányossága. Emiatt általában már a rendszerek beüzemelése alatt, de főleg a rendszeres használat során derül fény a hiányzó jelzések és adatgyűjtések szükségességére. Az utólagos fejlesztés megvalósíthatósága azonban ekkor már kétséges és ennek következtében jellemzően az üzemeltető személyzet szakértelmével lehet a legkisebb beruházási költséggel pótolni a feltárt hiányokat. Hogy a megfelelő szakértelem elvárása az utólagos beruházásokkal szemben tényleg a legkisebb költséget eredményezi-e hosszú távon, azt csak a mindennapi gyakorlat mutatja meg.

Az esemény következő szereplője a gépész, aki az operátorral együtt felügyeli a szivattyúk üzemét, csak amíg az operátor a vezérlőteremből, addig a gépész a terepen látja el a felügyeletet. A terepi ellenőrzés befejeztével a gépész a vezérlőteremben tartózkodik és az operátorral együtt látja el a távfelügyeletet. A vezérlőtermi tartózkodás során a gépész az adatok ellenőrzésével az operátori felügyeleten túl kiegészítő ellenőrzéseket végezhet, de ezen ellenőrzések gyakorisága nagyban függ a gépész terepi munkájától. A terepi munka ellenőrzésből és szükség esetén beavatkozásokból áll. A beavatkozásokat jellemzően délelőtt, délután kell megtenni, nem jellemzőek az éjszakai terepi beavatkozások. A gépész a vizsgált időszakban a vezénylőteremben tartózkodott, de a fedőellenőrzés nem történt meg vagy, ha igen, akkor a hőmérsékletváltozás megítélése hasonlóan történt, mint az operátor esetében.

A gépész általi fedőellenőrzés nem volt előírva, miközben a gépész és az operátor hasonló szak tudása és gyakorlata ezt biztosíthatta volna.

A hőmérsékletemelkedés tényét az operátor nem továbbította a műszakvezető felé. A műszakvezető nagyobb szakmai tapasztalata eredményezhette volna az esemény időben történő felderítését. A műszakvezető információ hiánya elsősorban az operátor problémafelvetésének elmaradásából következett másodsorban a műszakvezető információ kérés gyakorlatából. A gyakorlat szerint a műszakvezető egyszeri, a műszak elején történő bejárás során ellenőrzi az operátor és a gépész munkavégzési gyakorlatát azután már csak az operátor által közölt információkat elemzi, kivéve a műszak végén történő közös, a műszak alatt történt események elemzését.

3.2. A módszer fő-ok elemzése

A „Módszer” fő-okhoz az adatrögzítés, az adatelemzés és a próbák, mint okok kerültek meghatározásra és az elemzés szempontjából szükséges további vizsgálatra érdemesnek.

Az operátor által írt adatok táblázatos formában, adatlapra történnek. A leírandó adatok számossága meghaladja a kétszázat, aminek a rögzítése kb. 20–25 percet vesz igénybe. Az adatok leírása során a teljes rendszer felügyeletét is el kell látni, ami a fény és hangjelzések figyelésével biztosított.

Módszer

adatrögzítés

- a manuális, papírra történő rögzítés sok időt visz el
- a rögzítendő adatok száma sok
- az adatrögzítés és a rendszerfelügyelet egyszerre végzendő párhuzamos tevékenységek
- adatrögzítési kényszer

adatelemzés

- az adatlapokon csak alsó és felső határértékek vannak megjelenítve
- a táblázatos formába felvitt adatok a trendelemzést nehezíti teszik
- trendelemzési módszerek és korlátok nincsenek a kezelési utasításban meghatározva
- a rögzítendő adatok között nincsenek elkülönítve a fontos és kevésbé fontos adatok
- az adatok közti összefüggések felismerése az operátor szakmai képességére vannak bízva
- a sok hasonló adatbeírás az értékek megkülönböztetését nehezíti teszi
- az előző napi adatokkal az operátor nem tudta összehasonlítani az adatokat, mert éjfél után azok beszédre kerülnek

próbák

- a hőmérséklet és szint mérések a ciklikus próbák során nincsenek ellenőrizve, csak a karbantartás során

2. táblázat A „Módszer” fő-ok okai és gyökér-okai

Az adatok beírása kötelezően óránként egyszer történik.

A beírások során kell az adatok igazságtartalmát és értékét elemezni és összehasonlítani az adatlapokon szereplő alsó és felső határértékekkel, továbbá valamilyen szintű trendelemzést végezni. Az adatok táblázatos megjelenése a határértékekkel történő összehasonlítást egyszerűvé teszi, a változás mértékének megítélést viszont nehezéssé. A változás mértéke fejben történő számolás után áll elő, ahogy a végeredmény mértékének összehasonlítása is. A fejben történő és számszerű összehasonlítás messze nem annyira hatékony, mint egy látható diagram grafikus elemzése.

Az elemezhetőséget nagyban segítheti, ha megfelelő grafikus formában jelennek meg az adatok. A grafikus megjelenítés jobban felhívja a figyelmet a változások mértékére, a változás veszélyességére, a lehetséges új egyensúlyi állapot beállási értékére és idejére.

A trendelemzéshez nemcsak a megfelelő grafikus megjelenítések szükségesek, de tudni, kell értelmezni, elemezni is a látott adatokat. A korrekt és megbízható elemzés megköveteli a megfelelő műszaki és fizikai ismeretek meglétét és használatát. Ismerni kell a melegedési és hűlési folyamatok, az egyensúlyi állapotok közti átmenetek, a nem beálló folyamatok, a különböző belső és külső zavarások törvényszerűségeit, amellet, hogy ismerni kell magát az adott gépelemet, berendezést, rendszert.

A mélyebb elemzéshez nemcsak az alapösszefüggések, hanem magasabb szintű, az adatok egymás közti összefüggésének ismerete is szükséges. Jelen esetben az operátor e trendelemzési technikákat és ismereteket nem alkalmazta megfelelően, mert a csapágyfém hőmérséklet változását nem hasonlította össze a csapágyolaj hőmérsékletváltozásával és nem hasonlította össze a hasonló szivattyúk ugyanezen értékeivel sem.

A szivattyúk ciklikus próbái során a hőmérséklet és szintjelzések hihetőségét nem vizsgálták, azt csak az üzemeltető személyzet a napi üzemviteli ellenőrzések során tapasztaltakkal vetette össze.

Hihetetlen adatbeírás esetén sokat segít, ha az operátor összehasonlítja a korábbi adatokkal az éppen aktuális adatot. A kialakult gyakorlat szerint az adatlapok 0–24 órás időtartamot fognak át és éjfél után, jellemzően egy-két órákor, az adatlapokat összeszedik és a műszakvezetői irodába viszik. Az adott napon is így történt, emiatt az operátornak csak utánajárás után lett volna lehetősége az előző napi adatokkal való összehasonlítást elvégezni, amit viszont nem tett meg.

3.3. Az eszköz fő-ok elemzése

Az „Eszköz” fő-ok csapágy, olajhűtő, adatlap, adatkijelző fal és kezelési utasítás okokra lett bontva.

A villamos motor felső csapágya egyben a támcsapágy is. Konstrukcióját tekintve olajkenésű, ferde hatásvonalú, hordógörgős csapágy, merülő olajkenéssel, olajhűtővel ellátva. Az olaj hűtését a szivattyú nyomóoldaláról vételezett hűtővíz látja el, átfolyással. A hűtővíz a hűtőn átfolyva a hűtővízszivattyú szívóoldalára jut vissza.

A szivattyú forgórészének fordulatszáma háromszáz fordulat percenként, emiatt nem tartozik a nagy fordulatszámú gépek közé, de mivel a támcsapágy tartja meg a villamos motor forgórészének több tonnás súlyát, ezáltal nagy terhelésének van kitéve. Az olajkenésnek folyamatosan működnie kell, hogy a csapágy hűtése és kenése megfelelő legyen. A csapágy a nagy terhelés miatt nagyon érzékeny az olajhiányra, olajkenés nélkül élettartama percekben mérhető.

A csapágy a villamos motor méretéből adódóan magasan van, a motor burkolata alá építve, szemrevételezéssel, tapintással nem ellenőrizhető helyen.

Az olajhűtő átfolyásos rendszerű, fűtési radiátorszerű kialakítással, osztó és gyűjtő csöves elrendezésű. A hűtővíz az osztócsőből a gyűjtőcső felé vékony csöveken halad keresztül. A vízdali áramlást elemezve megállapítható, hogy az osztócsőben túlnyomás, míg a gyűjtőcső végén már depresszió van a légköri nyomáshoz viszonyítva. Ennek eredményeképpen, ha a túlnyomásos részen keletkezik a tömörtelenség, akkor a hűtővíz jut az olajba, ha a depressziós részen, akkor a hűtővíz az ejektor hatás miatt kiszívja az olajat az olajtérből. Mind az olaj keveredése a hűtővízzel, mind az olaj eltűnése kenési elégtelenséget okoz. A keveredés, és az így létrejött olajos emulziós kenés kisebb problémát jelent, mert az olajos emulzió még biztosít valamilyen szintű kenést. Megállapítható, hogy a depressziós rész létezése nemcsak amiatt káros, mert az olaj el tud távozni, hanem, mert bizonytalanságot okoz az olajsint változás megítélésében. Az üzemeltető személyzet számára egyszerűbb egy meghibásodás megítélése, ha csak egyirányú változások lehetségesek. Ráadásul fennáll annak a kis valószínűségű eseménynek is a lehetősége, hogy, ha egyszerre keletkezik két tömörtelenség az olajhűtőn az egyik a túlnyomásos, míg a másik a depressziós részen. Ilyen esetben az olajtérbe az olaj helyére a víz úgy tud bejutni, hogy az olajsint észrevehetően nem is változik. Ennek eredményeképpen az olajsint előjelzés érdemi jelzést nem hozhat, a helyszíni gépész ellenőrzés az olajsint megfelelőségét állapítja meg miközben a csapágy melegedni fog. Az így létrejött ellentmondás a melegedés és a megfelelő olajsint között megnehezíti, meghosszabbítja a helyes döntéshozatalt és ezalatt a csapágy tönkremehet.

Eszköz

csapágy

- érzékeny az olajhiányra
- nem megközelíthető helyen van

olajhűtő

- a hűtő tömörtelenség helyétől függően hűtővíz kerül az olajba vagy olaj kerül a hűtővízbe

adatlap

- papír alapú, amelyet kézzel, hosszadalmasan kell kitölteni

adatkijelző fal

- az adatokat analóg és digitális módon jelzi ki, trend nélkül
- az adatkijelző falon lévő megjelenítés nagyon sematikus

kezelési utasítás

- a kezelési utasításban az olajhiány nincs megfelelően szabályozva

3. táblázat Az „Eszköz” fő-ok okai és gyökér-okai

A papír alapú adatlapokkal kapcsolatos tapasztalatok elemzése korábban megtörtént, újabb megállapítás ebben a részben nincs.

Az adatkijelző fal, mint az eseményben részt vevő eszköz itt jelenik meg először. Az adatkijelző falon a különböző mérések a hűtővíz rendszer sematikus ábráján vannak megjelenítve. A megjelenítők analóg és digitális eszközök, amelyek a pillanatnyi értékeket mutatják. A pillanatnyi érték fontossága nem kérdőjeleződik meg, de a jelenlegi kialakítás kiegészítve trend megjelenítésre alkalmas eszközökkel, sokkal hatékonyabb ellenőrzést tenne lehetővé.

A mérések értelmezését segítő rendszer séma hasznos, viszont egy részletesebb séma, amelyen például a szivattyú nem egy körként lenne megjelenítve, hanem a fizikai kinézetét nagyjából követő rajz formájában szintén a könnyebb érthetőséget eredményezné.

A vízkivételi szivattyútelep kezelési utasításban a csapágyolaj hiány nincs megfelelően kezelve. Az utasítás szerint, ha a nézőüvegben az alsó nívószint alá csökken az olaj, akkor gondoskodni kell az utántöltésről. Az utántöltés időbeni korlátozásáról és a lehetséges kockázatokról az utasítás nem ad semmilyen iránymutatást. Ebből a kezelő személyzet arra következtethet, hogy az olajhiányos állapot a szivattyú üzemét nem veszélyezteti és a nézőüvegben lévő olajsint ellenőrzése nem létfontosságú. A meghibásodás után lévő vizsgálat során kiderült, hogy a nézőüveg alsó nívószintje az a minimum, ami alá a szint semmiképpen nem csökkenhet, mert az alatti olajszinteknél a csapágy biztosan szárazon fog futni és tönkre fog menni.

3.4. A környezet fő-ok elemzése

A „Környezet” fő-ok alatt okként a vezérlőterem, a villamos motor környezet és az időpont szerepelnek.

A környezet elemzésekor azt vettük figyelembe, hogy melyek azok a körülmények, amelyek az eseményben közvetlen vagy közvetett módon közrejátszottak.

Legelőször a Vezérlőterem került szóba. A Vezérlőterem egy a mai kornak megfelelő kialakítású helyiség, ahol az ergonómiai és komfortkövetelmények maximálisan biztosítottak. A Vezérlőterem csak a szivattyútelep távfelügyeletét és vezérlését látja el, így ha nincs üzemviteli

művelet, akkor a Vezérlőteremben csak a távfelügyeletet kell ellátni. Kis eseménysűrűség esetén így ez a környezet inger szegénnyé válik, és nem biztosít megfelelő körülményeket a figyelem magas szintű fenntartására.

Környezet

Vezérlőterem

- komfortos tér, ingerszegény környezet

időpont

- hajnali időpont, amely kritikus az emberi szervezet számára

villamos motor környezet

- nem kellően megvilágított csapágyolaj szintjelző
- magasan elhelyezett, nehezen „olvasható” csapágyolaj szintjelző

4. táblázat A „Környezet” fő-ok okai és gyökér-okai

Az üzemeltetői figyelem magas szinten való tartását az esemény időpontja is nehezítette, hiszen a hajnali idő az ébren lévő emberi szervezet számára kihívásokkal teli időszak.

A villamos motor felső csapágy elhelyezkedéséről már szó esett, ezzel kapcsolatban nincs újabb megállapítás.

3.5. A mérés fő-ok elemzése

A „Mérés” fő-ok elemzése során a hihetőség, az előjelzés és a mérések fajtája tűnt fontosnak.

Egy leolvasott adatnál a legelső minősítő szempont az adat hihetősége. A hihetőség vizsgálatnak többféle módja van, de legegyszerűbb és a leggyorsabb minősítési módszer a megfelelő gyakorlat és szakértelem megléte. Amennyiben ez adott, a hihetőség vizsgálat, még akkor sem egyszerű, mert a mért és a kijelzett érték közötti hirtelen változás adódhat a mért érték tényleges megváltozásából vagy a mérőkör hibás működéséből is. Lehet továbbá olyan eset is, – ilyenről itt most nem találkoztunk, – hogy a mérőrendszer hibája miatt a mért és kijelzett érték nem változik, miközben a valós érték ténylegesen megváltozott. Ha kétely merül fel egy érték hihetőségét illetően, akkor a legjobb, ha rendelkezésre áll egy redundáns mérés. A redundáns mérés kialakítása általában a mért érték fontossága és a megvalósításakor rendelkezésre álló költségek függvénye szokott lenni. Jelen esetben a csapágyfém hőmérsékletnek nem volt redundáns mérése, sem előjelzése. Redundáns mérésnek lehetne használni áttételesen a csapágyolaj hőmérsékletet is, de vizsgált esetben kiderült, hogy a csapágyolaj-hiány jelzési értéke olajhiány esetén már nem tudja megvédeni a csapágyat a tönkremeneteltől.

Ha már nincs redundáns mérés, akkor célszerű a mért paramétert előjelzéssel ellátni. Az előjelzés kiépítése megoldható az adott mérés határérték képzésével, de ennek hátránya, hogy a mérőkör meghibásodásával az előjelzés és a tényleges mérés egyszerre hibásodik meg. Ennél nagyobb mérési biztonságot eredményez, ha az előjelzés a tényleges méréstől teljesen független módon valósul meg.

Mérés

hihetőség

- az adatok (olajszint, hőmérsékletek) hihetőségének ellenőrzése nem biztosított
 - nincs redundáns mérés

előjelzés

- nincs csapágyhőfok előjelzés
- az olajhőfok előjelzés nem védi meg a csapágyat a meghibásodástól

mérések fajtája

- csak táv hőfokmérés van
- csak helyszíni olajszint mérés van
- az olajszintjelzőn az olaj vizesedése nehezen vagy egyáltalán nem látható

5. táblázat A „Mérés” fő-ok okai és gyökér-okai

A mérések megvalósításának redundanciája a mérés megbízhatóságát tovább növeli. Célszerű a fontosabb méréseknél a helyszíni mérés megjelenítést kiépíteni a lehető legegyszerűbb mérőelemekkel például higanyos hőmérővel.

A csapágyolaj szint mérése csak a helyszínen volt, ennek távmérése megfontolandó, mert a korábban elemzett módon az olajszint lefelé és felfelé is változhat az olajhűtő tömörtelenség helyének függvényében. Fontos diagnosztikai paraméter lehet az olajszint, viszont kiépítése meglehetősen költséges, emiatt pontos költség-haszon elemzés után lehet hasznosságáról dönteni.

A helyszíni üveges olajszintjelző elhelyezkedése és a nézőüveg opálosodása miatt nehezen látható olajszintet eredményez, és ez jelentősen megnehezíti az olaj elvizesedésének felismerését.

3.6. A karbantartási rendszer elemzése

Az utolsó fő-ok a „Karbantartás” volt, amelyet az olajhűtő, a motorcsapágy és a mérések tekintetében vizsgáltunk meg.

Karbantartás

olajhűtő

- TMK jellegű karbantartása van

villamosmotor támcsapágy

- TMK jellegű karbantartása van

mérések

- TMK jellegű karbantartása van
- a szintjelző karbantartási utasítása nem biztosítja az egyértelmű alacsony olajszint beállítást

6. táblázat A „Karbantartás” fő-ok okai és gyökér-okai

Az olajhűtőnek és a villamosmotor támcsapágyának TMK (tervszerű megelőző karbantartás) jellegű karbantartása van. A TMK jellegű karbantartás alatt a hűtő nyomáspróbáját és a támcsapágy teljes cseréjét is elvégzik. Jelen esetben a csapágy működése megfelelő volt, míg a hűtő az egyik hegesztési varratnál lett tömörtelen. A TMK jellegű karbantartás eddig megfelelőnek bizonyult, mert korábban hasonló jellegű probléma nem volt. A hűtő varratainak beépítés

előtti ellenőrzését lehet fokozni egy alaposabb varratvizsgáló módszerrel, mint például röntgenezéssel, a jelenleg alkalmazott penetrációs vizsgálathoz képest.

A méréseknek szintén TMK jellegű karbantartása van. Az olajsztintjelző mérés beállításának helytelenségét is megállapította a vizsgálat, mert az alacsony olajsztint jelzés megjelenésekor a csapágy olajsztintje nem biztosította már megfelelő olajzást. Az alacsony olajsztint jelzésnek természetesen akkor kell jelezni, amikor lecsökken az olajsztint, de még azelőtt, mielőtt a csapágy tönkremenne. A vizsgált esetben ez nem így volt a csapágy olajsztint alacsony jelzés egyenértékű volt a csapágy tönkremenetelének jelzésével.

4. KÖVETKEZTETÉSEK, AJÁNLÁSOK

Az Ishikawa módszer szerinti elemzés megerősítette, hogy alaposabb elemzést tesz lehetővé, mint az általános mérnöki gondolkodásból adódó elemzés.

A feltárt hiányosságok összefüggnek egymással és célszerű összevonásokat végezni, mert így kevesebb javító intézkedést lehet javasolni. A javító intézkedések számát célszerű az optimális minimumra csökkenteni, mert az összes javító intézkedés egy időben történő megtétele nem lenne reális sem a költségeket, sem a fizikai megvalósíthatóságot tekintve. Amennyiben az elemzés során a munkakultúrával kapcsolatos javító intézkedések fogalmazódnak meg, akkor azok hatékonysága csak nehezen mérhető egyrészt a nehezen megfogható cél és elvárás, másrészt a nagy átfutási idő miatt.

A gyökér okokat összegezve, és a minimumra csökkentve, az alábbi javaslatok ajánlottak:

- ellenőrizni kell a csapágyolaj nézőüveg beépítési helyességét;
- a csapágyolaj szintkapcsoló karbantartási utasítását pontosítani kell és a beállítást összhangba kell hozni a nivóüvegen látható szintekkel;
- a csapágyfém hőmérséklet előjelzést ki kell építeni és a szabályzását a kezelési utasításba szerepeltetni kell;
- a kezelési utasításban az alacsony csapágyolaj szintre vonatkozó utalást pontosítani kell;
- felül kell vizsgálni az adatlapokra rögzített értékek szükségességét és hasznosságát és amennyiben lehetséges csökkenteni kell a beírt adatok számát;
- a megmaradó adatokat úgy kell csoportosítani, hogy az egymásra hatással lévő adatok elemzése hatékonyabb legyen;
- az adatlapokat nem éjjel után kell a vezérlőteremből összegyűjteni, hanem a reggeli műszakváltás után;
- a gépész, a vezérlőteremben való tartózkodás ideje alatt, ellenőrizze az operátor által beírt adatokat, végezzen fedőellenőrzést;
- az operátorok szakmai, kockázat- és trendelemzési tudását fejleszteni kell;
- a kezelési utasításban az egyes adatlapra írt értékek egyéb üzemviteli korlátait is meg kell jeleníteni és lehetőség szerint azokat az adatlapokon fel kell tüntetni, mint például megengedett változási sebesség;
- a kezelési utasításban ki kell dolgozni olyan gyakorlati példákat, amelyek az üzemeltett berendezések és rendszerek dinamikus viselkedésének mértékét mutatják be;

- az olajhűtő hidraulikáját módosítani kell olyan formában, hogy csak túlnyomásos állapotú hűtővíz legyen benne, például egy a hűtő utáni torlasztó-tárcsa beépítésével;
- az adatlapokra írt adatokat digitális adatrögzítőre kell rögzíteni, amely digitális adatrögzítő grafikonos megjelenítést, trendelemzést tesz lehetővé, szükség esetén javaslatot ad a beavatkozások lehetőségeire;
- a szivattyú vezérlőterem teljes irányítástechnikai rekonstrukcióját kell megvalósítani és azon belül kezelni az adatgyűjtési, archiválási, adatelemzési eljárásokat.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban egy erőművi hűtővíz szivattyú meghibásodása esettanulmányán keresztül írtuk le az üzemeltetési kockázat meghatározó elemeit. A bemutatott Ishikawa elemzés általános és speciális következtetések levonására alkalmasak. További kutatási célunk az üzemellenőrzési folyamatok új modell-leírási, vizsgálati, és optimalási módszereinek feltárása és azok alkalmazási lehetőségeinek bizonyítása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Büki Gergely Fosszilis erőművek, Budapest, 2005
- [2] Józsa István Örvényszivattyúk, (Konstrukció, Üzemeltetés, Karbantartás), Budapest, 2003.
- [3] Kantner, Rob QS 9000 Válaszok könyve, Panem Kft, Budapest, 1999
- [4] Kövesi János – Topár József A minőségmenedzsment alapjai Budapest, Typotex Kiadó, 2006.
- [5] POKORÁDI LÁSZLÓ Karbantartás elmélet, Debrecen, 2002.
- [6] Water & Electricity, How it Works, (online) url: <http://www.eurelectric.org/water/> (2013.02.19.)
- [7] ZVIKLI SÁNDOR Járműpark üzemeltetési rendszere vizsgálatának Markov típusú folyamatmodellje, Győr, 2011