

37. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Budapest, 2025. április 22–24.
Nemzeti Közsolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

**A MODERN HARCÁSZATI REPÜLŐK
ÜZEMELTETÉSHATÉKONYSÁGA NÖVELÉSÉNEK
LEHETŐSÉGE KORSZERŰ ENDOSZKÓPOS
VIZSGÁLATOKKAL**

Jelige: *ÜZEM*

Pályamunka lezárásának időpontja: 2025. január

2025.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
2. A KÜLÖNBÖZŐ ANYAGVIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK ISMERTETÉSE	4
2.1. RONCSOLÁSOS ANYAGVIZSGÁLAT	4
2.2. RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLAT	6
3. AZ ENDOSZKÓPOK FEJLŐDÉSE.....	7
3.1. KEZDETEK.....	8
3.2. A MODERN ENDOSZKÓPIA KIALAKULÁSA	8
3.3. AZ OPTIKAI SZÁL MŰKÖDÉSE.....	9
4. AZ ENDOSZKÓPIA GYAKORLATI ALKALMAZÁSA	10
4.1. LÉGIJÁRMŰVEK ENDOSZKÓPOS VIZSGÁLATA	11
4.1.1. HAJTÓMŰVEK VIZSGÁLATA	11
4.1.2. LÉGIJÁRMŰVEK MÁS RENDSZEREINEK VIZSGÁLATA	15
4.2. WAYGATE TECHNOLOGIES EVEREST MENTOR VISUAL IQ KÉPESSÉGEI.....	15
4.3. ENDOSZKÓPIA ALKALMAZÁSA A GRIPEN ÜZEMELTETÉSE SORÁN....	16
5. A TÍPUS ÜZEMELTETÉSÉNEK HATÉKONYABBÁ TÉTELE	19
5.1. KÉPESSÉGKIHASZNÁLÁS	23
5.1.1. MÉRÉSI PONTOSSÁG NÖVELÉSE	23
5.1.2. HELMET MOUNTED DISPLAY HASZNÁLATA.....	24
5.1.3. LAPÁTSZÁMLÁLÓ FUNKCIÓ	25
5.1.4. HÁROMDIMENZIÓS KÉPALKOTÁS.....	26
5.2. INFORMATIKAI-TÁMOGATÁSI RENDSZER	27
5.2.1; TELEMETRIA ADATOK ÉLŐ TOVÁBBÍTÁSA	27
5.2.2 MÉRÉSPROFILOK HASZNÁLATA	29
5.2.3. ADATOK AUTOMATIKUS KINYERÉSE.....	30
5.2.4. SZERVEZETKIEGÉSZÍTÉSI JAVASLATOK.....	30
6. ZÁRÓ GONDOLATOK.....	32
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	33

FELHASZNÁLT IRODALOM	34
MELLÉKLETEK.....	37
1. MELLÉKLET	38

1. BEVEZETÉS

Az ipar és a légiközlekedés területén széles körben alkalmaznak roncsolásmentes technológiákon alapuló vizsgálati eljárásokat. A dolgozat bemutatja az eltérő anyagvizsgálati eljárásokat, ismerteti az endoszkópok fejlődését a kezdetleges eszközöktől a modern, szoftveresen támogatott digitális endoszkópok létrejöttéig. Kitér az endoszkópok gyakorlati alkalmazására és bemutatja, mely területeken végeznek ilyen vizsgálatokat a légiközlekedésben.

A dolgozat elkészítésének célja megvizsgálni a Magyar Honvédség által rendszerben tartott JAS-39 C/D EBS HU típusú többfunkciós harcászati repülőgép földön töltött idejét miként lehetne csökkenteni az üzemeltetés-karbantartás során a rendelkezésre álló technikai eljárások hatékonyságának növelésével. Az értekezésben a témát az ennek a típusnak az üzemeltetése során alkalmazott endoszkópon keresztül kívánom megvizsgálni, mert az alkalmazott eszköz számos képessége nincs kihasználva. Az endoszkópiát, mint vizsgálati eljárást a típus számos nehezen hozzáférhető berendezésénél és részegységénél alkalmazzák, azonban ezek közül kiemelkedik a hajtómű, aminek az üzemeltetés közbeni kellő mélységű vizsgálata más eszközzel nemigen lehetséges. A mérési pontosságot azért érdemes növelni, mert a megbízhatósággal kapcsolatos statisztikai számításokhoz pontosabb adatok állnak így rendelkezésre. Ez növelheti az üzemeltetés hatékonyságát, a repülésbiztonságot és a rendelkezésre állást, mert összességében csökken a földön töltött idő.

2. A KÜLÖNBÖZŐ ANYAGVIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK ISMERTETÉSE

A különböző anyagvizsgálati eljárások elsődleges célja az adott anyag, eszköz, berendezés minőségének, állapotának, felhasználhatóságának megállapítása és azok változásának nyomon követése. Az alkatrészek állapotának pontos ismerete teszi lehetővé a berendezések további üzemeltetésének biztonságosságát.

Az anyagvizsgálati eljárások két csoportra bonthatók: roncsolásos és roncsolásmentes (non destructive testing, NDT). A különbség köztük az, hogy a vizsgálat elvégzését követően a vizsgálati tárgyban történt-e permanens szerkezeti károsodás. Roncsolásmentes anyagvizsgálat esetén ilyen nem történik.

A roncsolásos anyagvizsgálatot elsősorban olyan minőségellenőrzési céllal használnak, amikor a mintadarab fajtájából adódóan annak sérülése szükségszerű, illetve a keresett minőségi mutató más fajta vizsgálati módszert nem tesz lehetővé.

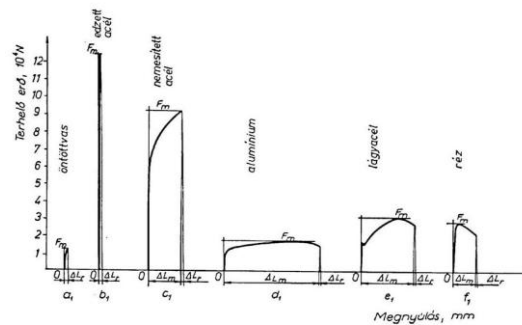
A roncsolásmentes anyagvizsgálatok során fontos, hogy a vizsgált anyag, eszköz, berendezés ne sérüljön, ezért alapvetően a már elvégzett munkafolyamatok végén minőségellenőrzési, valamint hibafeltérési-diagnosztikai céllal alkalmazzák azt. [1]

2.1. RONCSOLÁSOS ANYAGVIZSGÁLAT

A roncsolásos anyagvizsgálati eljárásokkal vizsgálható az adott alapanyag szilárdsága, keménysége, valamint megmunkálhatósága. Ezeknek a vizsgálatoknak három fő területük létezik: a szilárdságtani vizsgálatok, a keménységmérési eljárások, valamint a technológiai vizsgálatok. Az alábbiakban ezekről lesz röviden szó. [1]

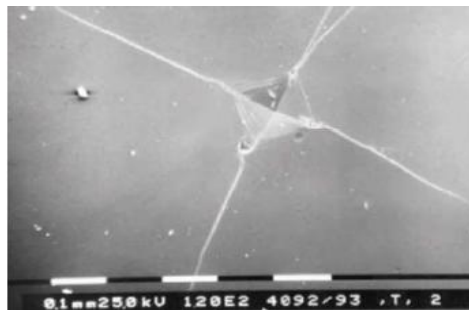
Szilárdságtani vizsgálatok esetén az anyag mechanikai behatásokkal szembeni ellenállóságát elemzik. Ezek lehetnek statikus, dinamikus, illetve ismétlődő igénybevételek alkalmazásával végzett ellenőrzések. Ezekkel a vizsgálatokkal állapítják meg az időben állandó, vagy közel állandó, a hirtelen fellépő és az ismétlődő igénybevételek esetén az anyag tulajdonságait, vizsgálják a próbatest rugalmasságának határát, a maradandó alakváltozások zónáját, és a próbatest szakadásához, tönkremeneteléhez szükséges terhelések mértékét. Ezeket diagramon tüntetik fel. Néhány tipikus szilárdsági kategóriába tartozó anyag szakítódiagramját az (1. ábra) szemlélteti. Jól megkülönböztethetők a lágy anyagok, a rideg anyagok és a nagy szilárdságú acélok tipikus terhelési görbéi. A repülőiparban leginkább az edzett acél, a

nemesített acél és a duralumínium anyagok használata jelentős. Napjainkban az egyre nagyobb teret nyerő kompozitanyagok is megemlítendők.[2]



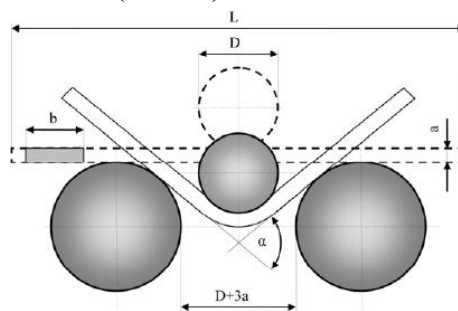
1. ábra: Különböző szerkezeti anyagok szaktódiagramja [2]

A keménységmérés során az anyag kopással és deformálódással szembeni tulajdonságait állapítják meg. Anyagminőségtől függően többféle keménységmérést is alkalmazhatnak: a Brinell-, a Vickers (2. ábra) -, valamint Rocwell-féle keménységmérést, valamint vas-nemvas összehasonlításhoz a Poldi-módszert. [3]



2. ábra: Vickers lenyomat [3]

Az anyagok megmunkálhatóságát a technológiai próbákkal állapítják meg. Mivel a megmunkálhatóság megállapítása a cél, az erők nem kerülnek mérésre, illetve a vizsgálatok nem általánosíthatók, mert más üzemekben, laborokban más gépekkel végzik azokat. A fő cél megállapítani azt a mértéket, ameddig az anyag az adott technológiával maradandóan alakítható, de nem keletkezik sérülés (3. ábra). [4]

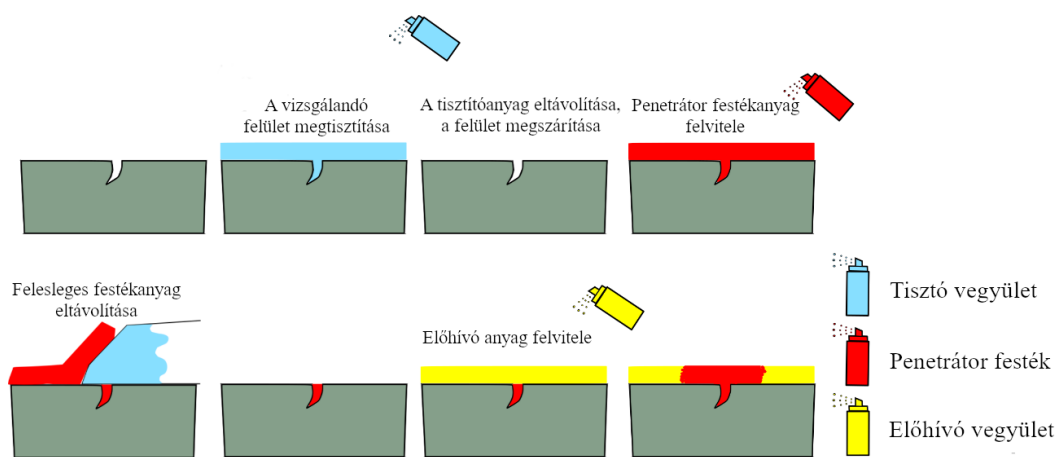


3. ábra: Hajlítópróba [4]

2.2. RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLAT

Amikor a vizsgálandó darab károsodása nem megengedhető, roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárásokat kell alkalmazni. Ezek lehetnek szerkezeti hegesztések, szegecsek, járművek, ipari gépek fontos, összetett rendszerei, elemei. Az ilyen eljárásokat elsősorban hibafeltárássra, diagnosztikára, a szerkezet reális állapotának és maradék élettartamának megítélésére használják. [5]

Az eljárás lehet szemrevételezés, ekkor a vizsgálatot végző személy saját szemét használja az anyaghibák feltárássra, amik lehetnek folytonossági hibák, geometriai eltérések, deformációk, korrózió. Ez megtámogatható nagyítóval (Lupe), mikroszkóppal, valamint endoszkópiával. Csak a felületi hibák kimutatására alkalmas. A vizsgálatot kiegészítheti folyadékpenetrációs vizsgálat, ha a vizsgált tárgy anyaga nem porózus (4. ábra). Az előkészítést követően a nagy kontrasztú festékanyag (penetrátor) bejut a felszíni repedésekbe, majd a felületen elterülő rész eltávolítása és az előhívó anyag felvitele után láthatóvá válnak az indikátorfesték által jelölt repedések. A módszerrel hozzávetőlegesen 5 µm széles és 10 µm mélységű hibákat már ki lehet mutatni, azonban nem szolgáltat azonnali eredménnyel. [6] [7]



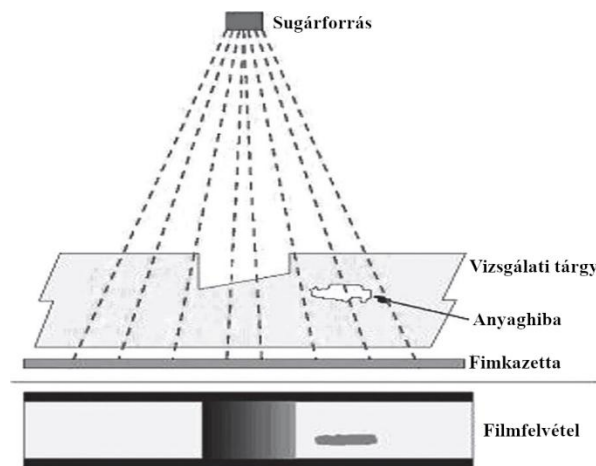
4. ábra: A festékpenetrációs vizsgálat folyamata [6]

Az eddigi eljárások csak a felszíni, vagy azon is megjelenő hibák kimutatására képesek. A felszín alatti hibák, mint például a zárványok vagy repedések észlelésére a legegyszerűbb módszer a mágneses repedésvizsgálat. Itt a felületre felvitt ferromágneses jelzőanyag halmozódik fel a hiba környezetében, mivel ott a mágneses mező nem homogén a felmágnesezett testen. Hátránya, hogy csak a felszín közelében képes hibát kimutatni. [6] [7]

A felszín alatti hibákat nem képalkotó módon kimutató vizsgálat az örvényáramos vizsgálat, amely a hiba helyét egy, a fluxusváltozást jelző diagramon jelzi. A hiba hozzávetőleges helyén kívül meghatározható annak mérete is. Ehhez hasonló módszer az

ultrahangos vizsgálat, ami a 20 kHz-nél magasabb frekvenciájú hanghullámok felülethatárról történő visszaverődését használja fel a hiba lokalizálására. A módszerrel csak a hiba helye adható meg, annak tulajdonságai és a visszavert jel nagysága között nincs összefüggés. [6] [7]

Képkalkotó eljárás a röntgen- és a gammasugaras vizsgálat. Ezek áthatoló sugárzást használnak fel, kihasználva azt, hogy minden anyag más elnyelőképességgel bír, emiatt a hiba és annak tulajdonsága megállapítható (5. ábra). A képkészítés módja a fényképezéshez hasonló, viszont magasabb energiájú fotonokat használnak fel. A használatához nagy energia és drága felszerelés szükséges, emellett gondoskodni kell a jelenlévők sugárvédelméről. [6] [7]



5. ábra: A radiográfia működési elve [6]

3. AZ ENDOSZKÓPOK FEJLŐDÉSE

Az endoszkópot, valamint azok különböző változatait elterjedten használják az ipar számos területén, így a légijármű-karbantartásban is. A téma tárgyalásához érdemes először röviden megismerni az endoszkópok fejlődését. Ez előtt azonban fontos tisztázni a boroszkóp és endoszkópok közötti különbségeket.

Az endoszkópok és boroszkópok hasonló felépítéssel és azonos működési elvvel rendelkeznek, mindkettő lehet merev vagy hajlékony. Méretbeli különbségükből adódóan azonban felbontásuk és alkalmazhatóságuk eltérő. Ezt a különbséget a modern digitális technika alapvetően kiküszöbölte. Ha az endoszkóp vagy boroszkóp videóképet rögzítésére alkalmas, videoszkópról, ha pedig üvegszálal felépítésű, akkor fiberszkópról beszélhetünk. A modern technológia miatt ezek a határok elmosódtak, nem feltétlen lehet egyértelműen kategorizálni az eszközöket, egy berendezés több kategóriába is besorolható. Emiatt a vizsgálatok során endoszkópián alapuló vizsgálatokról beszélhetünk.

3.1. KEZDETEK

Az emberi test megismerésére már az ókorban és a középkorban is voltak törekvések. Mind a görög, a római és az arab világ orvosai használtak kezdetleges vizsgálótükröket, melyek három vagy négy ágúak voltak és rektoszkópként használták. Ezeknél az eszközöknél a megvilágítást egy gyertya, vagy olajlámpa fénye adta, amit egy fémtükörrel irányítottak. Ilyen három és négy ágú rektoszkópot használt Hippokratész (Kr. e. 460- Kr. e. 477) és találtak Pompejiben, melyek eredetét Kr. u. 79 körülre becslik. Abu al-Kaszim al-Zahravi (Kr. u. 936 – Kr. u. 1013) már üvegtükröt alkalmazott, amely jobb megvilágítást biztosított. A kezdetleges rektoszkópok terén az XIX. század elejéig nincsen számottevő fejlődés. [8] [9]

Az első mérőldkövet Philipp Bozzini (1773-1809) németajkú urológus érte el 1805-ben. Készüléke a lichleiter, magyarul fényvezető volt (6. ábra). Az eszköz megvilágításához méhviasz gyertyát és ezüsttükröt használt. Eltérő méretű vizsgálótükröket lehetett rá illeszteni a különböző testnyílásokhoz alkalmazkodva. [8] [9]



6. ábra: Lichleiter [8]

3.2. A MODERN ENDOSZKÓPIA KIALAKULÁSA

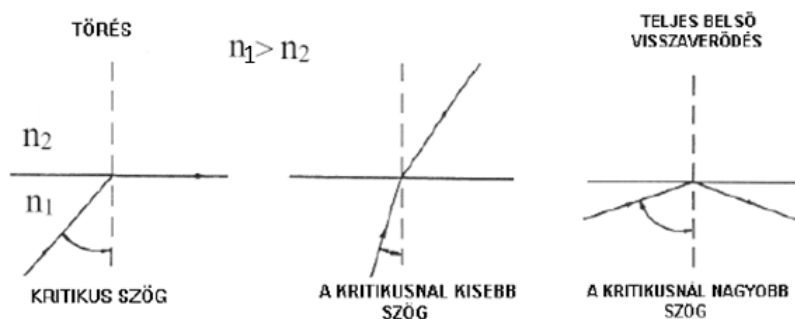
A szerény kezdetek után jelentős fejlődést a XIX. században értek el. A humánusabb alkalmazás érdekében gumival látták el az eszköz végét, ezáltal biztonságosabban lehetett használni. A század közepétől a fényforrás energiaellátásához elkezdtek galvánelemeket alkalmazni, de ez mérete miatt még nem volt praktikus, ezért inkább alkohol és terpentin keverékét égető lámpát használtak. Az 1870-es évekre megoldódott az elektromos lámpa platinaszájának hűtése, így az alkohol és terpentin keverékét égető Desormeaux-lámpa végleg kiszorult. 1885-ben megjelent az Edison-féle villanykörte, amit szinte egyből fel is használtak, mint fényforrás, mert gazdaságosabb és megbízhatóbb volt az addigi megoldásoknál. A század legvégére megjelent a háromrétegű endoszkóp, belül a lencsesorral, amit a fényforrás és a skálabeosztással ellátott külső burkolat vett körbe. A századfordulón és azután megjelentek az

első részben hajlékony endoszkópok. Ezek még tükrök és prizmák rendszerét használták és csak az eszköz végét lehetett mozgatni. Az 1900-as évek közepéig maradtak használatban, amikor is megjelentek a teljesen hajlékony endoszkópok. Ez egy 1927-es szabadalmon alapul, ami a fény nem egyenes vonalú továbbításával foglalkozott hajlékony üveg felhasználásával. Ez lett később az üvegszál. Ezek a szálak 63,5 mikron átmérőjűek. A szomszédos szálak közötti térköz a köteg teljes hosszán változatlan marad, emiatt a fény akkor is továbbítható, ha a kábelköteg kör alakban van meghajlítva. Az első teljesen hajlékony endoszkóp fejlesztése 1954-ben kezdődött meg és 1957-ben mutatták be a készüléket. Innentől kezdve a fejlesztés elsősorban a digitalizációt és a magasabb minőségű képátvitelt érinti. Az első digitális endoszkópot 1983-ban mutatták be. [8] [9]

3.3. AZ OPTIKAI SZÁL MŰKÖDÉSE

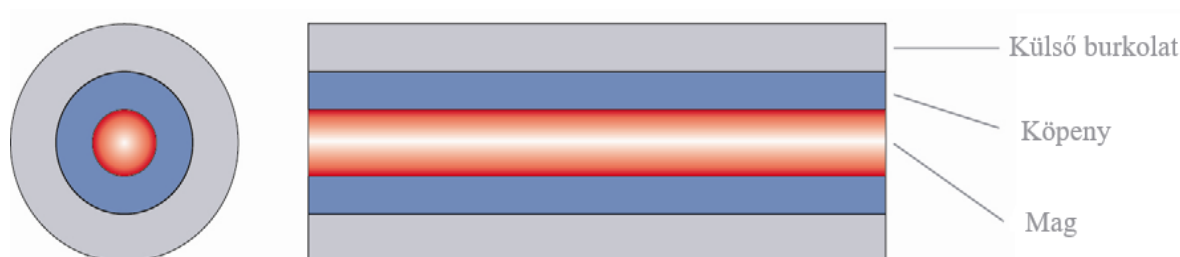
A hajlékony endoszkópokban található optikai szálak miatt lényeges áttekinteni azoknak működési elvét: a teljes fényvisszaverődést, vagy totálreflexiót (7. ábra).

A fényvisszaverődés alaptétele, hogy a visszavert fénysugár szöge megegyezzen a beeső fénysugár szögével. Fényvisszaverődés két közeg határán történhet. Azt, hogy mekkora beesési szögtől történik teljes fényvisszaverődés, az úgynevezett törésmutató jellemzi, mely az egymást határoló eltérő közegekre jellemző arányszám. Megkapható az α beesési szög és a β a törési szög hányadosaként, vagy a közegek fénysebességeinek hányadosaként. Amikor α elér egy meghatározott értéket, akkor $\beta = 90^\circ$ és a megtört fénysugár a két közeg határán fut végig. Ez az úgynevezett határszög. A határszög szinusa egyenlő a törésmutatóval. Az ennél nagyobb α beesési szögek esetén a fény nem lép a másik közegbe, hanem teljesen visszaverődik. [10]



7. ábra: Teljes fényvisszaverődés [10]

A valóságban mivel fényáteresztő anyagról van szó, igen kis mennyiségű fény átjut a közeghatáron valamint végigfut azon. Emiatt az optikai szál magját képző üvegszálat alacsony törésmutatójú anyaggal vonják be (8. ábra), ami lehetővé teszi a szinte teljes visszaverődést. A szál az optikai szigetelésen túl is szigetelni kell, hogy az védve legyen a külső környezet behatásaitól, kizárva a zavaró tényezőket és megőrizve az optikai szál minőségét. [11]



8. ábra: Az optikai szál keresztmetszete [11]

4. AZ ENDOSZKÓPIA GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

Különböző endoszkópos, boroszkópos vizsgálatokat akkor végeznek, ha a vizuális vizsgálat során a vizsgált terület nehezen hozzáférhető, vagy hozzáférhetővé tétele maradandó károsodással járna.

A gyakorlatban számos területen kerülhet sor ilyen vizsgálatra. Ez lehet egy erőmű hőcserélőjének csőrendszere, hegesztések [12], üzemanyagvezeték, üzemanyagtartály, égéstér, repülőgép sugárhajtóművének egy eleme.

Eltérő típusú erőművekben, távhőközpontokban elsősorban az égésterek, turbinák és hőcserélők ellenőrzését végzik. Hibaforrás lehet a hőterhelés, legyen akár tartósan fenntartott magas hőmérséklet, akár hőmérséklet-különbség. Hibát okozhat a rendszerbe kerülő idegen test is, ami a rendszert eltömítheti, vagy fizikai behatás révén károsíthatja. [32]

A légi jármű-üzemeltetés során endoszkópos vizsgálatokat végeznek a hajtóműveken, legyen az dugattyús motor vagy gázturbinán alapuló rendszer. Dugattyús hajtómű esetén leggyakrabban az égésteret, valamint a dugattyúk felszínét vizsgálják a gyújtógyertya nyílásán keresztül. Gázturbinára épülő hajtóműveknél, legyen az akár axiál- akár centrifugálkompresszoros, mind a kompresszorfokozatot, az égésteret és a turbinafokozatot is ellenőrzik a lapátok, valamint az égéstér állapotának meghatározására. Vizsgálják továbbá a központi kondicionáló rendszert is, elsősorban annak hőcserélőjét.

Egy ellenőrzést végezhetnek előre meghatározott technológia alapján, vagy eseti jelleggel. Előre meghatározott technológia alapján a vizsgálatot akkor kell elvégezni, ha

megadott üzemóraszám elérése bekövetkezik, vagy egy előre meghatározott paraméter olyan változása után, amely elért egy bizonyos határértéket. A hibakereső célú ellenőrzést eseti jelleggel váratlan hibajelenség, vagy annak közeli bekövetkezésére utaló jel előfordulásakor végeznek. Ilyen például a túlzott vibráció, vagy egy madárral való ütközés. Ezekre részletesen a dolgozat a későbbiekben tér ki. [15] [30]

4.1. LÉGIJÁRMŰVEK ENDOSZKÓPOS VIZSGÁLATA

A légi járművek számos részén végezhető endoszkópos vizsgálat. Lényegében mindenhol, ahova a vizsgálófej befér. Ez lehet egy gyújtógyertyafurat, egy szűrő lamellája, egy csővezeték. A gyakorlatban olyan alkatrészekben és berendezésekben végeznek endoszkópos vizsgálatokat, amelyek rendszeres és pontos vizuális vizsgálata a repülésbiztonság szempontjából kulcsfontosságú, de máskülönben nehezen hozzáférhető és nem lehetséges vagy praktikus a szerkezet megbontása. A legtöbb ilyen alkatrészt és berendezést előre meghatározott technológiai utasítás szerint vizsgálják, amit a gyártó állít ki. Bizonyos alkalmakkor eseti jelleggel végeznek ettől eltérő vizsgálatokat is. Ezek szükségességét az üzemeltető ítéli meg a rendelkezésre álló adatok alapján. A légiközlekedésben leggyakrabban a hajtóművet vizsgálják ezzel a módszerrel. [15]

4.1.1. HAJTÓMŰVEK VIZSGÁLATA

A dugattyús motor optimális működési paramétereit, üzembiztosságát jelentősen befolyásolja a dugattyú, az égéstér és a szeleptányér állapota, melynek meghatározását a gyújtó- vagy izzítógyertya furatán keresztül végzik. Vizsgálni kell, nincs-e olajlerakódás az égéstér falán, mivel ez a dugattyú kompressziógyűrűinek nem megfelelő tömítését jelenti. Nem megfelelő tömítés esetén kenőanyag jut az égéstérbe, ez rontja az égés hatásfokát, növeli a károsanyag-kibocsátást. A kompressziógyűrűk vezetik el a működés során keletkező hőt a dugattyútól a hűtött hengerfalra. Ezek elégtelen állapota esetén nagyobb hőterhelés éri az erőforrást, ami miatt az az optimálisnál alacsonyabb hatásfokon üzemeltethető. Ezen felül vizsgálni kell az égéstér általános állapotát is, található-e a felületén repedés vagy horpadás. [14][23]

A dugattyútető kopását az égéstérbe kerülő idegen anyagok, például por, okozzák, amelyek a működés során sűrűlnek azzal. Emiatt a kopás miatt elégtelen lesz a sűrítés, így az égés is. Ez a hatásfok csökkenését és a motor kopogását okozza. A dugattyúfejre lerakódó korom miatt is elégtelen lesz az égés, így ez is hasonló problémákat okoz. A dugattyú túlzott hőterhelése annak repedését okozhatja (9. ábra), emiatt fontos a hőterhelésre utaló jelek, mint

az elszíneződés meglétének vizsgálata. A repedt dugattyú miatt az erőforrás teljesítménye jelentősen csökken, javításig biztonságosan tovább nem üzemeltethető. [18] [23]



9. ábra: Repedés dugattyútetőn [saját kép]

A szelepek felelnek az üzemanyag-levegő keverék megfelelő adagolásáért és az égéstermék égéstérből való eltávolításáért. A magas hőterhelés miatt a szeleptányér elrepedhet, ami csökkenti a motor hatásfokát, mert az égéstérből anyagkiáramlás történik. A szívószelep repedése esetén a kipufogógáz kerül az üzemanyag-levegő keverékbe, a kipufogószelep repedése esetén pedig az üzemanyag-levegő keverék távozik a rendszerből. A túlzott hőterhelésre a dugattyúhoz hasonlóan elszíneződés utal. Ezen felül fontos a repedések mielőbbi felderítése, mielőtt elérne azt a méretet, ahol az anyagkiáramlás megtörténik (10. ábra). A szeleptányérra lerakódó korom, az anyagáramlást akadályozza, csökkenti az égéstérbe kerülő üzemanyag-levegő keverék és a kipufogáskor távozó kipufogógáz mennyiségét. A szelepek eltömítettségének fő jele a kopogó hang és a hatásfok csökkenése. [18] [23]



10. ábra: Balra: Nyitott szelep; Középen: Zárt szelep; Jobbra: Szelepülés [saját kép]

Sugárhajtóművek esetén azok állapotmeghatározása még fontosabb a dugattyús motorokhoz képest. A határértéken túli hiba biztonsági kockázatot jelent az erőforráson belül jelen lévő szélsőséges értékek miatt. A lapátokról darabok törhetnek le, ami további, az eredetinél sokkal nagyobb mértékű károsodást tud okozni. A sugárhajtómű négy fő szegmensből áll: ventilátor, kompresszor, égőtér, turbina. A ventilátor felel a levegő beszívásáért, majd a kompresszorfokozatba juttatásáért. Ennek vizsgálata annak

hozzáférhetősége miatt nagyítóval történik, a többi fokozaté előre kialakított vizsgálónyílásokon keresztül endoszkóppal vagy boroszkóppal. A forgó részek vizsgálata során a vizsgáló eszközt egy helyben tartják és a lapátsort forgatják. [18] [33]

A kompresszor sűríti össze a ventilátor felől érkező levegőt. A szükséges sűrítés miatt a kompresszor több lapátsorból áll, valamint rendelkezik alacsony és magas nyomású résszel. Az alacsony nyomású kompresszor elősűríti a levegőt, az itteni hőmérséklet $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ [17] körüli. Emiatt elsősorban a korrózió, az idegen anyagok, valamint az üzemeltetés közben a lapátokra ható erők okoznak anyaghibát. Ezek lehetnek repedések, horpadások, anyagihiányok. Feltárásukat a ventilátor irányából és előre kialakított vizsgálónyílásokon keresztül végzik. Legtöbb esetben ennek a szekciónak minden forgórésze ellenőrizhető (11. ábra). [18] [33]



11. ábra: Alacsony nyomású kompresszor lapáttő rész[saját kép]

A magas nyomású kompresszor sűríti tovább a levegőt és az égőtérbe juttatja azt. Itt a fokozat után a hőmérséklet meghaladja az $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot [17], emiatt a korrózió és a mechanikai hatásokon túl a hőterhelés is anyaghibát okozhat elsősorban repedések és anyagihiányok formájában. A vizsgálat a forgó lapátsorok száma miatt csak a legelső és legutolsó sornál lehetséges előre kialakított vizsgálónyíláson keresztül (12. ábra). [18] [33]



12. ábra: Magas nyomású kompresszor lapát [saját kép]

Az égőtérben történik az üzemanyag-levegő keverék elégetése, utánégetővel nem rendelkező rendszerben itt a legmagasabb a hőmérséklet. A szélsőséges hőterhelés miatti anyagfaradás miatt az égőtérben repedések keletkezhetnek. Az állapotfelmérést a kiszerelt gyújtógyertya furatán keresztül végzik és kiterjed az égőtérre, az üzemanyagbefecskendező-fűvókákra és a magas nyomású turbina állórészére (13. ábra). [18] [33]



13. ábra: Balra: RM12 égésszektor üzemanyagbefecskendezővel; Középen: TV-3 Lángstabilizátor; Jobbra: TV-3 Hegesztési szegmens [saját kép]

A turbinafokozat feladata a ventilátor- és kompresszorfokozatok meghajtása. A magas nyomású turbina végzi a magas nyomású kompresszor, az alacsony nyomású turbina az alacsony nyomású kompresszor és a ventilátor meghajtását. Ebben a fokozatban a hőmérséklet 800-900°C [17] fölötti a fokozat után mérve, emiatt a mechanikai erőkön túl a hőterhelés okozhat anyaghibát. Ezek vizsgálata fokozatonként külön vizsgálónyíláson keresztül történik (14. ábra). Ha a hajtómű többáramú kialakítással rendelkezik, akkor a technológiai utasításnak megfelelően ellenőrizni kell a külső levegőáram csatornáját is. [18] [22][33]



14. ábra: AI-9 indítóháztómű turbinalapát [saját kép]

A reduktor nem hajtómű, de a hajtáslánc kulcsfontosságú eleme. A turboprop és a turboshaft elrendezésű hajtóművek része. Feladata a gázturbina tengelyfordulatszámának csökkentése azért, hogy a légsavarlapát vagy a rotorlapát kerületi sebessége a helyi hangsebesség alatt maradjon. Azért a tengelyfordulatszámot csökkenti, mert az közvetlenül

összefügg a kerületi sebességgel. A reduktor fogaskerekből áll, amiknek a kopása miatt a fogak nem megfelelően érintkezhetnek, emiatt csökken a hatásfok, vagy akár teljes meghibásodás is felléphet. Repülésbiztonsági kockázatot jelent az oda bekerülő idegen test vagy letört fémdarab, ami megakaszthatja a rendszert vagy további kárt okozhat. Mivel a reduktor bonyolult felépítéssel rendelkezik, emiatt megbontása munka- és időigényes, ezért amikor csak lehet, az állapotellenőrzési vizsgálatokat endoszkóppal végzik el.

4.1.2. LÉGIJÁRMŰVEK MÁS RENDSZEREINEK VIZSGÁLATA

A hajtóművön kívül végezhetnek endoszkópos vagy boroszkópos vizsgálatot a légi jármű más rendszerein is. Ez lehet a tüzelőanyagtartály annak érdekében, hogy felmérjék az állapotát korrózió, anyagihiány, folytonossági hibák, üledékesedés szempontjából. A légi járművön található egy vagy több hőcserélőt is ilyen módon ellenőrzik, hiszen anyagihiba, anyagihiány, korrózió esetén közegátáramlás történhet, ami repülésbiztonsági szempontból kockázatos.

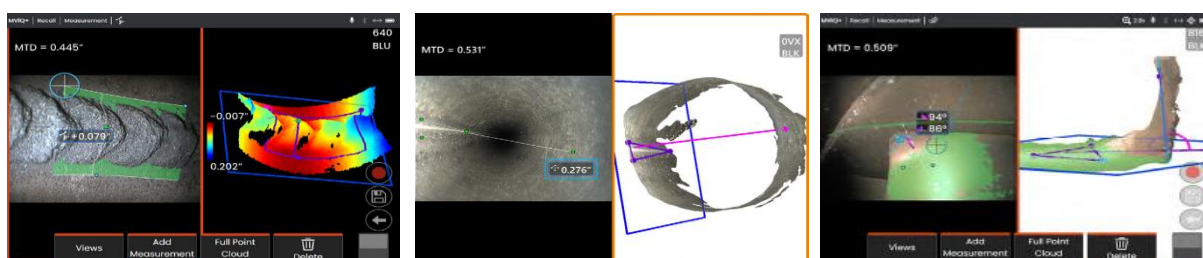
Ha a légi járműbe idegen test kerül, például madárral való ütközés vagy emberi hiba miatt, akkor az érintett területet, ha az nehezen, vagy nem hozzáférhető, endoszkóppal vizsgálják meg és annak segítségével irányítják az eltávolítást.

4.2. WAYGATE TECHNOLOGIES EVEREST MENTOR VISUAL IQ KÉPESSÉGEI

A Gripen vizsgálatához a Waygate Technologies Everest Mentor Visual IQ típusú hajlékony endoszkópját alkalmazzák. A készülék a típusüzemeltetés során a harmadik alkalmazott endoszkóptípus, az elődökhöz képest fejlettebb technológiát használ, amely számos alkalmazási lehetőséget biztosít. Alapvető tulajdonsága a 6 mm-es fejtátmérő, amely egyben az alkalmazható eszközök szempontjából korlátozó tényező, mert ennél nagyobb átmérőjű fej nem fér át a vizsgálónyíláson. A műszer egyaránt rendelkezik monó és sztereó fejrészszel. A fejrész lehet közeli vagy távoli fókusztávolságú, valamint előre, vagy oldalra néző. Az optikai fej képes 4 irányban elfordulni és 180 fokban képes visszafordulni. A készülék elhasználódásával ez a szög részben csökken, de a vizsgálatot nem akadályozza. [24]

Azt, hogy melyik irányba néző optikai fejet használják, a vizsgálat típusának megfelelően határozzák meg. Ha az ellenőrzendő terület inkább oldalra néző fejet igényel, mint egy lapát vizsgálata, akkor az oldalra néző fejet alkalmazzák, ha pedig inkább előre nézőt, vagy van hely a fejet mozgatni, a „direkt” látómezővel kialakítottat. Sztereó fejrészszel történő vizsgálatkor a képernyőn egy bal egy jobb oldali kép jelenik meg. Ez lehetővé teszi a térhatású felvételek készítését és a pontos térbeli mérést. [24]

A készülék képes Bluetooth- és WiFi-kapcsolat létrehozására, a kép konferenciahíváson keresztüli megosztásában. USB-A csatlakozón keresztül külső adathordozót, DisplayPortjára pedig külső megjelenítőt lehet csatlakoztatni. Képes kép- és videofelvétel rögzítésére és azok kiegészíthetők feliratokkal, hangalapú jegyzetekkel. Szoftveres képkorrekcióval van ellátva az optikai torzulások kompenzálására. Sztereófej használatával ezredmilliméter pontossággal mérhető a hosszúság, mélység, terület, lehetséges a szögmérés is. Ezeket felhasználva képes több szakaszból álló hosszúságmérésre, mélységprofilt készítésére (15. ábra). Lehetséges meglévő, vagy a vizsgálat során készített képekből háromdimenziós modell generálására. Rendelkezik lapátszámláló funkcióval, ami a forgó lapátsor vizsgálatát könnyíti meg. [24]

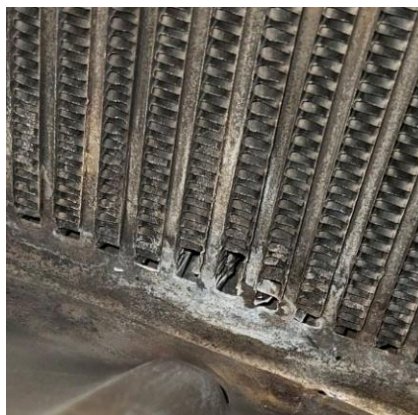


15. ábra: Balra: Mélységprofil; Középen: Mélység mérése; Jobbra: Szög mérése [25]

4.3. ENDOSZKÓPIA ALKALMAZÁSA A GRIPEN ÜZEMELTETÉSE SORÁN

A típus üzemeltetését az AMP-k, az Aircraft Maintenance Publicationok határozzák meg, amit a gyártó állít ki. A dokumentumcsoport részegységekre lebontva, lépésről lépésre leírja a légijármű üzemeltetéséhez, hibaelhárításához, javításához tartozó munkafolyamatokat, tartalmazza a szükséges adatokat. Ezek között azt is, hogy melyik berendezést milyen típusú vizsgálatnak kell alávetni. A típuson elsősorban a hajtóművön végeznek endoszkópos vizsgálatot, mert a biztonságos és költséghatékony üzemeltetéshez elengedhetetlen a rendszeres vizuális állapotellenőrzés és hibafeltárás. A hajtómű belső szerkezeti elemei üzemeltetői környezetben azonban kizárólag endoszkóppal hozzáférhetők. Az erőforráson kívül endoszkópos vizsgálatat ellenőrzik az üzemanyagter nehezen hozzáférhető elemeit, különösképp a gumis átvezető elemeket. Ezzel az eljárással ellenőrzik a segédhajtóművet és a központi kondicionáló rendszer hőcserélőjét is (16. ábra), aminek repedése, korróziója esetén forró levegő átáramlása történhet a szabályozott rendszerbe. A sárkányszerkezetet alapvetően eltérő roncsolásmentes diagnosztikai eljárásokkal vizsgálják, mert ott a felszín alatti anyaghibák kimutatása kulcsfontosságú. Ez alól részben kivételt képez a szívócsatorna, aminek nehezen hozzáférhető részeit endoszkóppal ellenőrzik. A vizsgálat célja megállapítani, hogy a

levegőbevezető csatorna törzs felé eső falán a szegecskötések kellő szilárdsággal bírnak, vagy szegecslazulás történt-e a kritikus zónában.



16. ábra: Központi kondicionáló rendszer hibája [saját kép]

A hajtómű üzemeltetésével az AMP-51 foglalkozik. Tartalmazza a vizsgálati, javítási, szerelési eljárásokat, táblázatos formában az anyaghibák maximális megengedett mértékét részegységekre lebontva. Leírja azokat a vizsgálati eljárásokat, melyek elfogadhatók hibafeltárás során és a mérések elvégzésekor. A technikai utasítás alapján az erőforrásban talált anyaghibák mértékének meghatározására összehasonlításos módszert kell alkalmazni, amihez méretadatokkal ellátott referenciaképeket biztosít. A mérési módszerrel milliméter pontossággal határozható meg a hiba mérete. A repült óraszám alapján tervezett ellenőrzések során (100 óránként „D” check, 200 óránként „TS” technikai kiszolgálás) [30] endoszkóppal ellenőrzik a hajtómű kompresszor, égéstér és turbina fokozatait. Az égéstér ellenőrzése során ellenőrzik a külső levegőáram csatornáját is. Ezt madárral való ütközés esetén, vagy olyan alkalmakkor ellenőrzik, amikor a csatornába potenciálisan idegen test kerülhetett. A 100 és 200 órás vizsgálatok eltérő tűréshatárokkal rendelkeznek, mivel a légijárműnek van olyan berendezése, amit az eseti jellegtől eltekintve kizárólag a 200 órás átvizsgálás során ellenőriznek, ezért szigorúbb tűréshatárt kell alkalmazni.



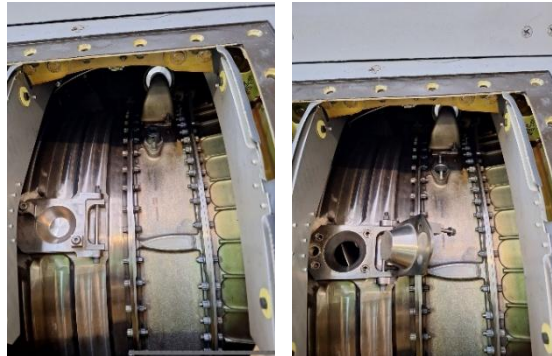
17. ábra: Balra: RM12 égéstér repedése; Középen: RM12 alacsony nyomású turbina forgó lapátsor hibája; Jobbra: RM12 alacsony nyomású turbina álló lapátsor anyaghiba [saját kép]

A vizsgálatokat az AMP-51-nek megfelelően monó fejjel, a méréseket összehasonlításos módszerrel végzik. Feltárt hiba esetén kép- vagy videofelvételt készítenek, amelyeket további kiértékelésre, későbbi összehasonlításra elmentenek (17. ábra). Ennek megkönnyítése érdekében a rögzített anyagot felirattal vagy hangfelvétellel látják el. A felvételeket szükség esetén elektronikus úton továbbítják a gyári támogató szervezetnek. A szervezet ezeket kielemez, adott esetben rendelkezik a beavatkozásról, vagy további felvételeket kér, mert a forrásanyag valamilyen okból nem megfelelő, például nincs fókuszban vagy szükséges az anyaghibáról felvételt készíteni egy eltérő szögből. Emiatt a támogató szervezet általi véleményezés hosszabb időbe, akár több napba telhet.

Az előre tervezett vizsgálatokon túl végezhetnek eseti vizsgálatokat is nem várt hibajelenség feltárására. Ezek a vizsgálatok kiterjednek az AMP-k által nem részletezett berendezésekre is, mivel a hibafeltárás és ellenőrzés a berendezések, elemek megbontása nélkül hamarabb elvégezhető. Előre nem tervezett endoszkópalkalmazás az idegentest-eltávolítás is, amikor nehezen hozzáférhető helyen kell idegen testet lokalizálni, majd eltávolítani és a repülőgép megbontása nem célszerű. A lokalizálást az endoszkóppal, az idegen test eltávolítását egy rugalmas fogóval végzik, amit az endoszkóp képe alapján irányítanak. Jó példa erre, amikor a repülőgépvezető fülkében az ülés miatt nehezen hozzáférhető helyre esik be idegen test. Ilyenkor az ülés eltávolítása majd visszaszerelése nem célszerű, sokkal több időt vesz igénybe, mint az endoszkóp és a fogószerszám használata.

Egy vizsgálat mindig az előkészítő fázissal kezdődik. Hozzáférhetővé teszik a munkafelületet, megtisztítják az esetleges külső szennyeződéstől, eltávolítják a vizsgálónyílások fedelét (18. ábra). Ezután következik a vizsgálat. Az endoszkóp bevezetése a vizsgálótérbe történhet vezetőszárral, vagy anélkül. Figyelni kell a műszer megfelelő kezelésére, hogy a kábelköteg ne törjön és csavarodjon meg, mert ez a belsejében található üvegszálak károsodását okozhatja, ami csökkenti a készülék pontosságát vagy akár teljesen használhatatlanná teheti azt. A vizsgálat során ügyelni kell, hogy az optikai fej ne akadjon be sehova, mert elszakadhat. Egy korábbi típus üzemeltetése során történt ilyen eset, megfelelő oktatással azonban ezek megelőzhetők. Az ellenőrzés során feltárt hibákat megfelelően dokumentálni kell. A vizsgálat befejeztével a munkaterületet eredeti állapotába vissza kell állítani. Megfelelően el kell rakni a készüléket, a vizsgálónyílások fedőit vissza kell helyezni eredeti helyükre, majd előírásnak megfelelően rögzíteni kell azokat. Az esetlegesen eltávolított

panelekkel is ugyan ezt kell tenni. A vizsgálatot dokumentálni is kell. Ezt követi az eredmények kiértékelése, ami alapján döntenek a szükséges beavatkozásról.

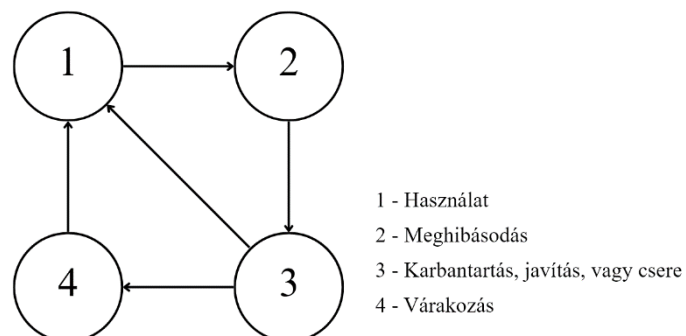


18. ábra: RM12 ventilátorfokozat és a teherviselő keret vizsgálónyílásai lefedve (balra) és vizsgálatra előkészítve (jobbra) [saját kép]

5. A TÍPUS ÜZEMELTETÉSÉNEK HATÉKONYABBÁ TÉTELE

A légijármű-üzemeltetés öt modell alapján történik [13]:

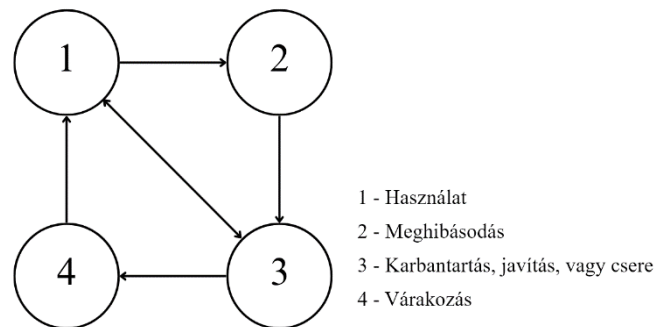
- Meghibásodás bekövetkeztéig történő üzemeltetés (19. ábra): Ilyenkor az adott berendezést az első hibajelenségig üzemeltetik, azon a működés során nem végeznek hibafeltáró- vagy javító tevékenységet. A hiba jelentkezése után az elemet cserélik vagy javítják. Csak olyan elemeknél alkalmazható, amelynek meghibásodása nem okoz kritikus biztonsági kockázatot. [15] [16] [30]



19. ábra: Meghibásodás bekövetkeztéig történő üzemeltetés gráfmodellje [15]

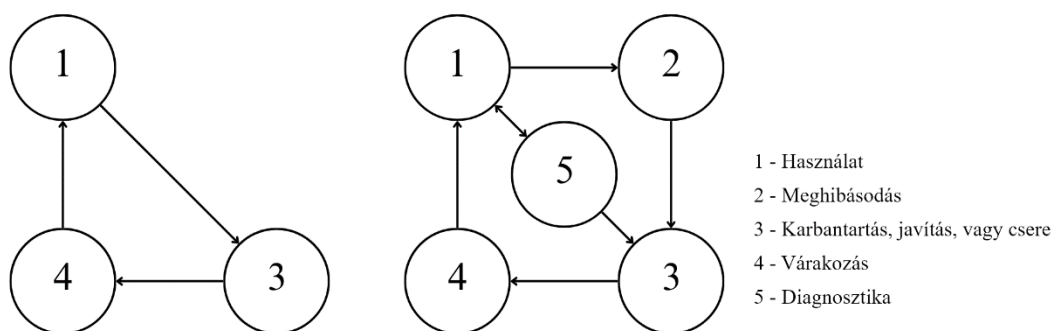
- Kötött üzemidő szerinti üzemeltetés (20. ábra): Ebben a modellben a javítási munkát előre meghatározott paraméter – repült óra, naptári időszak, leszállás, indítási ciklus – elérése után kell végrehajtani. Ilyenkor nem áll rendelkezésre biztos adat az egység megbízhatóságának statisztikai számításához. A beavatkozások közötti időt aszerint

határozzák meg, hogy az adott berendezés megbízhatósága a használat ciklusában ne érje el a kritikus szintet. [15] [16] [30]



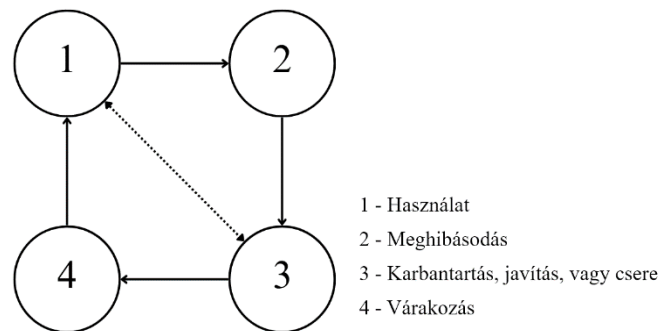
20. ábra: Kötött üzemidő szerinti üzemeltetés gráfmodellje [15]

- Szakaszosan vagy folyamatosan ellenőrzött paraméterek szerinti üzemeltetés (21. ábra): Ha az adott berendezésről működése közben érzékelők folyamatos adattal szolgáltatnak, vagy meghatározott időközönként – ciklusonként – azon ellenőrzést végeznek és az esetlegesen feltárt hiba az előre meghatározott határértéken belül van, a berendezés üzemeltethető. Ellenkező esetben a megfelelő hibaelhárítási beavatkozásokat végre kell hajtani. Ahhoz, hogy ez az üzemeltetés megvalósuljon, ismerni kell a rendszer matematikai diagnosztikai modelljét. Jelenleg a Gripent ez alapján az elv alapján üzemeltetik pár részegységtől eltekintve, ilyenek például a tömítések. [15] [16] [30]



21. ábra: Balra: Folyamatosan ellenőrzött paraméterek szerinti üzemeltetés gráfmodellje [15]

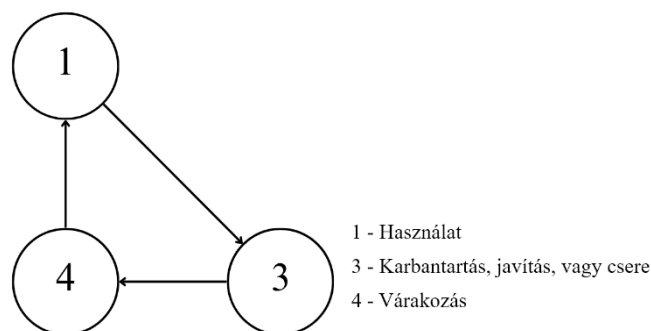
- Megbízhatósági szint szerinti üzemeltetés (22. ábra): Amennyiben az adott berendezés a működése során egy meghatározott szint alatti meghibásodási rátával működik, és arról hiteles adat áll rendelkezésre, akkor az minden további beavatkozás nélkül üzemeltethető. Ha ez a szint eléri az előre megadott értéket, valamelyik korábban említett üzemeltetési modellre kell átállni egészen addig, amíg a megbízhatósági szint vissza nem áll a kívánt értékre. Ekkor a berendezést vagy kötött üzemidő szerint üzemeltetik tovább, vagy külön ellenőrzést végeznek el azon. [15] [16] [29] [30]



22. ábra: Megbízhatóság szerinti üzemeltetés gráfmodellje [15]

- Állapot szerinti üzemeltetés (23. ábra): Feltétele, hogy az adott berendezésről elegendő mennyiségű adat álljon rendelkezésre ahhoz, hogy megfelelő meghibásodási modellt lehessen felállítani statisztikai- és valószínűség számítások alapján. Ehhez a légi járműnek rendelkeznie kell olyan integrált szenzorokkal, amelyek képesek megfelelő minőségű és mennyiségű adatot szolgáltatni. Állapot szerinti üzemeltetés során a meghibásodási modell alapján előre prognosztizálható egy adott alkatrész vagy berendezés meghibásodása. Ennek megfelelően meghatározható a legoptimálisabb üzemeltetési eljárás. Mivel az eszköz vagy berendezés tényleges állapota határozza meg az üzemeltetést, maga az eszköz nem

jut el a meghibásodásig, mivel azon a leghatékonyabb ponton elvégzik a szükséges javítási-karbantartási munkákat. [16] [29] [30]



23. ábra: Állapot szerinti üzemeltetés gráfmodellje
[saját, [15] [16] [30] alapján]

A Gripen rendszereinek, szerkezeti elemeinek jelentős többségén jelenleg a szakaszosan ellenőrzött paraméterek szerinti üzemeltetési elv szerint végzik el a szükséges javítási-karbantartási munkákat. Ha a vizsgálat során hibát tárnak fel, a SAE JA1011 szabvány alapján az alábbiakra kell pontos választ adni [30] [31]:

- A jelenlegi működési környezetben mik az adott elem funkciói és kívánt teljesítményértékei? (működés)
- Milyen módokon nem tudná ellátni a funkcióit? (működési hibák)
- Mi okozza az egyes működési hibákat? (hibamódok)
- Mi történik a hibajelenségek jelentkezésekor? (meghibásodás hatása)
- Mit befolyásolnak a hibák? (meghibásodás következményei)
- Mit kell tenni a hibák előrejelzésére vagy megelőzésére? (megelőző karbantartási tevékenység és annak időközei)
- Mit kell tenni, ha nem létezik megfelelő megelőző karbantartási tevékenység? (alapértelmezett tevékenység)

A légijárművön elhelyezett szenzorok mennyisége, azok adatgyűjtő képessége és a gyártói-üzemeltetői érdek miatt reálisan a jelenlegi üzemeltetési rendszer hatékonyabbá tételéről lehet szó. Ezt a mérések pontosításával, meggyorsításával, az adatfeldolgozás automatizálásával lehet elérni. Az üzemeltetési modell hatékonyabbá tételének lehetőségét jól lehet vizsgálni a típus erőforrásán, annak folyamatos és változatos igénybevétele miatt. Ez azonban nem korlátozza az hajtóműre a képességbővítést, az a teljes típuson lehetséges, ahol endoszkópos vizsgálatokat végeznek, azonban ezek jelentős részének tárgya a hajtómű, ezért ezek a lehetőségek ott érvényesülnének a legjobban. Ahhoz, hogy ez megvalósulhasson, ki kell

használni az endoszkóp képességeit és meg kell teremteni a megfelelő informatikai hátteret. A cél a repülésbiztonság és a rendelkezésre állás növelése, az üzemeltetési költségek csökkentése.

5.1. KÉPESSÉGKIHASZNÁLÁS

Az egyik kulcsfontosságú fejlesztendő rész az adatgyűjtés minőségének javítása, enélkül nem lehet hatékonyabbá tenni az üzemeltetést. A jelenlegi AMP üzemeltetési szempontból kizárólag a monó optikai fejrészszel, összehasonlításon alapuló mérést fogadja el. Emiatt az ellenőrzések során hiába végez mérést a vizsgálatot végző személy a sztereó fejrészszel, az így kapott adat az üzemeltetés során nem használható fel. Az endoszkóp képességeinek kihasználásához egy azt támogató technikai utasítást kell létrehozni az üzembiztonság, a repülésbiztonság és a mérés pontosságának szavatolása céljából.

5.1.1. MÉRÉSI PONTOSSÁG NÖVELESE

Ahhoz, hogy az endoszkóppal pontosan lehessen mérni, a térbeli képet adó sztereó optikai fejet kell használni. Ez a fejrész kettő kamerával rendelkezik, amelyek ugyanazt a pontot eltérő szögben veszik, ezt a szögeltérést kihasználva a háromszögelés [19] [21] [24] elvével tud az eszköz pontos mérést végezni. Sztereó fejrész használatakor a képernyőn két kép jelenik meg. Lehetséges csak az egyik oldali kép megjelenítése is, hogy a vizsgálat során egyszerűbb legyen a tájékozódás és az eszköz pozicionálása. [24]

Egy feltárt hibával kapcsolatban a legfontosabb adatok annak jellege, elhelyezkedése és mérete. Fontos információ a hosszúsága, szélessége, mélysége és a területe. Az endoszkóp rendelkezik olyan funkciókkal, melyekkel ezeket nagy pontossággal meg lehet állapítani és a hiba típusa és rövid jellemzése is feltüntethető. Az egyszerű mérésen túl lehetséges mélységprofil készítése, anyaghiány kiterjedésének meghatározása és a lapát élének minőségellenőrzése. [24]

Az eszközzel lehetséges pontfelhő alapú képalkotás, ami lehet teljes vagy mérési kép. Ezzel pontosabb térbeli kép készíthető, amin a felületi egyenetlenségek is látszódnak, így megkönnyítve a mérési pontok elhelyezését. Ebben a módban a kép zaj határozottabban megjelenik, amit a céltávolság vagy a fej szögének állításával lehet csökkenteni. Minél kevesebb a zaj a képen, az annál élesebb lesz. Mivel nagy pontossággal jeleníti meg a felületi eltéréseket, az olaj, vagy egyéb eredetű szennyeződések könnyebben észlelhetők. [24] Ennek a folyadékokkal működő rendszerek vizsgálatakor van jelentősége, mert a tervezett

átvizsgáláskor egy szivárgás hamarabb észlelhető. A pontosság miatt a tényleges szivárgás és a korábbi munkavégzés után esetlegesen ott maradt szennyeződés megkülönböztethető. [18]

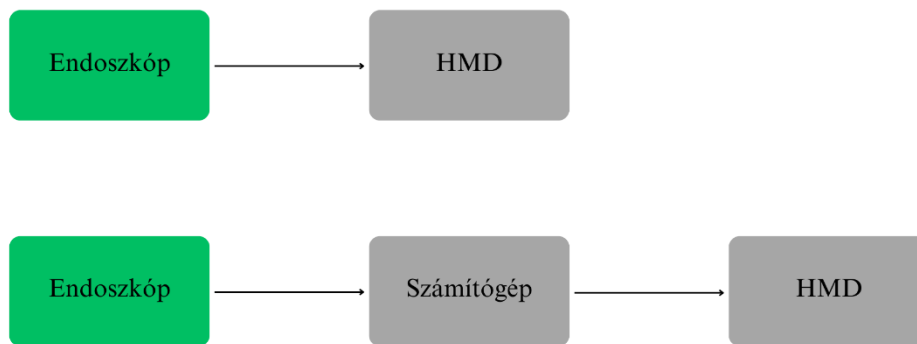
Ahhoz, hogy a pontosság mindenkor szavatolható legyen, minden vizsgálat megkezdése előtt meg kell győződni az eszköz pontosságáról. Erre a célra léteznek különböző ellenőrző berendezések. Határértéken kívüli hiba esetén az eszközön el kell végezni a szükséges javítási-karbantartási munkálatokat. Ez lehet akár az optikai fej megtisztítása vagy az eszköz újrakalibrálása. [24]

A mérési pontosság növelésével elkerülhető az ahhoz hasonló esetek, amikor az összehasonlításon alapuló mérés pontatlanságából eredően egy hajtóművet elküldtek javításra a gyártónak. A javítás során a gyártó küldött egy visszajelzést, miszerint az erőforrást még nem kellett volna javítani, volt benne elegendő üzemóra-tartalék. Ha a vizsgálatot pontos méréssel végezték volna, akkor megállapítható lett volna a hiba pontos mérete és az erőforrásból kirepülhették volna a fennmaradt üzemidőt.

5.1.2. HELMET MOUNTED DISPLAY HASZNÁLATA

Üzemeltetési tapasztalatok alapján a vizsgálat során nehéz a tájékozódás, mert a kezelő nem tud orientálódni az eszköz kijelzője alapján. Ez különösen igaz az oldalra néző optikai fej használatakor, mert a látótér nem egyezik meg a fej hossz tengelyi irányával. Az endoszkóp rendelkezik DisplayPort csatlakozóval, ezért képes a képet nem a saját kijelzőjén megjeleníteni. [24] Ezt kihasználva lehetséges az endoszkóp képének Head Mounted Displayen (HMD) történő megjelenítése. Ezt az orvoslásban már régóta alkalmazzák. [20] Ez az endoszkóp és az HMD képességeitől függően lehetséges közvetlen, vagy egy számítógép beillesztésével közvetett csatlakozással (24. ábra).

HMD használatával a műszert kezelő személy könnyebben tudna tájékozódni, mert a sztereó fej által biztosított térbeli képet immerzíven látná. Ennek legnagyobb jelentősége az oldalra néző fej használatakor van, mert a képet hagyományos képernyőn nézve nehezebb meghatározni a fej helyzetét, mert a kezelő nem tud elvonatkoztatni a környezetétől. Ezen felül az üzemanyagtartályok, csövek és vezetékek ellenőrzésekor hasznosítható, szintén a megkönnyített tájékozódás miatt.



24. ábra: Fent: HMD közvetlen csatlakoztatása endoszkóphoz;
Lent: HMD számítógépen keresztüli csatlakoztatása endoszkóphoz [saját ábra]

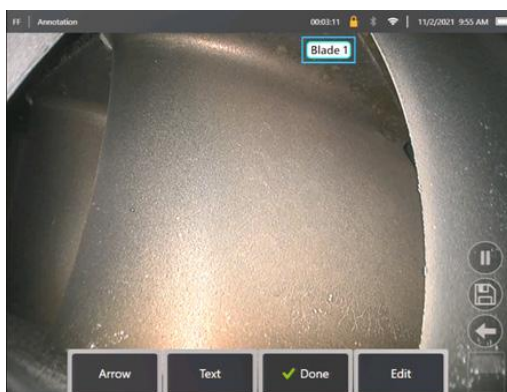
5.1.3. LAPÁTSZÁMLÁLÓ FUNKCIÓ

Amikor a hajtóművön egy forgó lapátsor vizsgálatát végzik, akkor a vizsgálófej statikus, legfeljebb függőlegesen mozog és a lapátkoszorút forgatják lapátonként az optika elé. Ezt az energiaátvivő-tengelyen keresztül végzik. Az endoszkóp képességeit tárgyaló részben már szó esett róla, hogy az endoszkóp rendelkezik lapátszámláló funkcióval.

A használatához először abba a helyzetbe kell állítani egy lapátot, amiben minden lapát lesz a vizsgálat során. Meg kell adni a lapát felületén egy belépő- és egy kilépőélt, ezt a tartományt fogja figyelembe venni a szoftver. A két él között ki kell jelölni egy pontot, amit, ha forgatás közben elér a lapát, a számláló léptetni fog. Meg kell adni, hogy a számlálás növekvő vagy csökkenő sorrendű-e. Ezt később módosítani lehet a beállításokban, ha a forgásirány változna vizsgálat közben. Meg kell adni a koszorún lévő lapátok számát, ez legfeljebb 999 lehet, és a kezdő lapát sorszámát. [24]

Az energiaátvivő-tengelyen különböző feliratok és jelölések találhatók, ezért a vizsgálatot mindig ugyanabból a pontból lehet kezdeni. Ez garantálja, hogy a lapátok sorszáma egyértelmű és visszakövethető legyen.

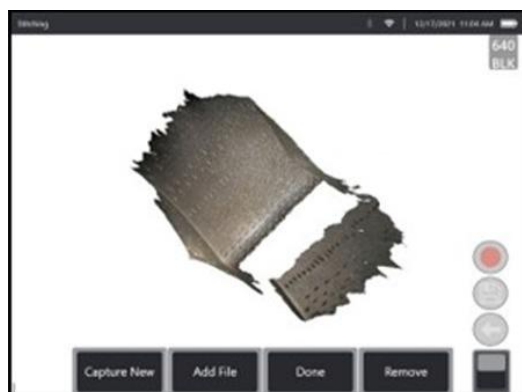
A lapátszámláló funkcióval lehetséges az esetlegesen feltárt hiba helyét pontosan megadni és mivel ugyanarról pontról kezdeni a vizsgálatot, pontosan és gyorsan visszakereshető az (25. ábra). Ez nagyban megkönnyíti egy korábban feltárt, de határértéken belül lévő hiba újraellenőrzését, mert szinte azonnal az érintett lapátot lehet vizsgálni, nem kell egyesével végignézni az összeset a hiba újbóli megtalálására, emellett a lapátok számolásából kizárja a humánfaktorból eredő hiba lehetőségét.



25. ábra: Lapátszámláló funkció használat közben [25]

5.1.4. HÁROMDIMENZIÓS KÉPALKOTÁS

Az endoszkóp képes öt képből háromdimenziós modellt alkotni. Ez lehetséges vizsgálat közben a megfelelő menüpont kiválasztása után képek készítésével vagy már meglévő képek összefűzésével. Mindkét esetben egy háromdimenziós modellt generál az eszköz (26. ábra). Ezzel lehetséges több síkra kiterjedő hibák mértékének pontos meghatározása. [24] Későbbi elemzésekkor, jelentések, összefoglalók készítése során az adott hiba egyértelműen, egyben megjeleníthető. Az így készült modellek oktatási célra is felhasználhatók, mert nagy felbontásban, több szögből lehet megjeleníteni egy hibatípus jellemzőit, emiatt könnyebben értelmezhető és tanulható.



26. ábra: Háromdimenziós modell az endoszkópban [25]

5.2. INFORMATIKAI-TÁMOGATÁSI RENDSZER

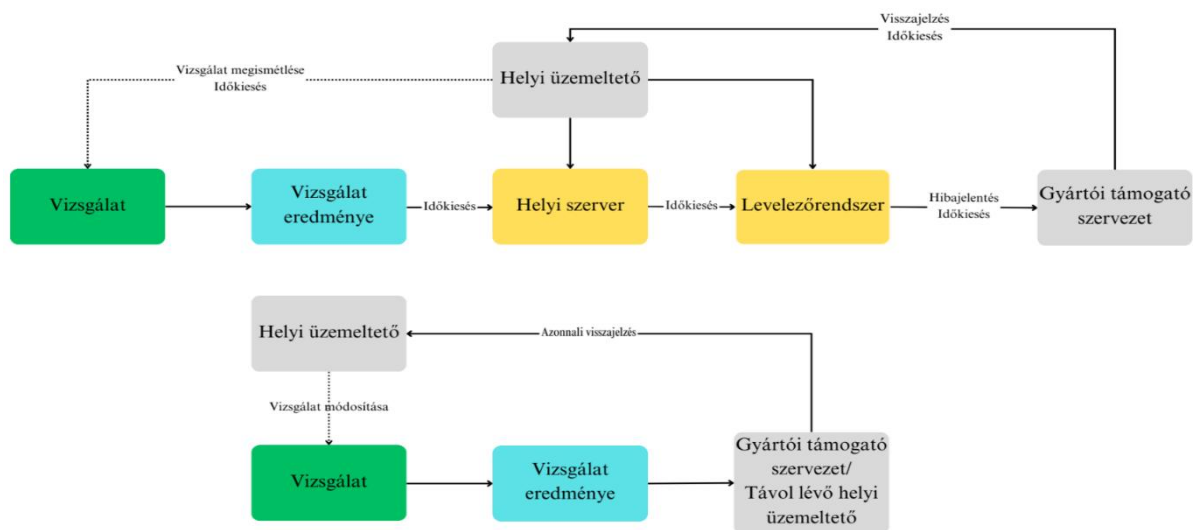
Az üzemeltetés hatékonyságának növeléséhez szükséges az endoszkóp képességeinek kihasználása mellett a gyártói támogatói rendszer kiszélesítése és a megfelelő informatikai háttér kialakítása. Az adatok megfelelő időben és minőségben történő hozzáférhetősége éppen olyan fontos, mint azoknak minősége és mennyisége. Lényeges, hogy az adatok szinte azonnal, néhány esetben azonnal elérhetők legyenek és megfelelő rendszerezettséggel, áttekinthetően és könnyen kezelhetően legyenek tárolva, ezzel meggyorsítva a munkát.

5.2.1; TELEMETRIA ADATOK ÉLŐ TOVÁBBÍTÁSA

Az eszköz képes WiFi kapcsolat létrehozására, emiatt lehetséges felhő alapú adattárolóra csatlakozni és oda továbbítani az adatokat azonnali jelleggel, ezáltal kiküszöbölhető az adatok fizikai úton történő továbbítása által jelentett idővesztés. [24]

Jelenleg gyártói támogatás igénylésekor az elkészült felvételeket az elektronikus levelezési rendszeren továbbítják a támogató szervezeteknek. Nem minden esetben elégséges a gyártónak nyújtott adat, vagy annak minősége miatt, vagy mert további felvételekre van szüksége a döntéshozatalhoz. Ekkor a visszajelzés alapján újra el kell végezni a mérést, az adatokat továbbítani egy számítógépre, majd onnan elküldeni elektronikus levél formájában a gyártónak. Ez akár többször is megismétlődhet, ami a repülőgép a tervezettnél jelentősen hosszabb földön tartózkodását eredményezi, mert az adatokat nem lehet közvetlenül továbbítani, a támogató szerv sem tud velük azonnal dolgozni, a levelezésből adódó kommunikációs nehézségek merülhetnek fel egy-egy félreértés miatt. A legidőigényesebb a vizsgálat megismétlése, hiszen ahhoz újból fel kell venni a vizsgálóeszközt, a vizsgálat tárgyát elő kell készíteni, ami adott esetben hosszabb folyamat is lehet és a mérés elvégzése is időigényes. Adott esetben a gyártó végleges válaszáig a kezdeti bejelentéstől számítva akár egy-két nap is eltelhet.

Internetre csatlakozva az endoszkóp képes képernyő és hang megosztására konferenciahíváson keresztül. Ez az InspectionWorks Connect (IWC) képesség, amivel azonnali gyártói támogatás válna elérhetővé, kiküszöbölve a levelezés és az esetleges újramérés jelentette időkiesést, azonnali visszajelzés kapható, ami később egy írásos véleménnyel is kiegészíthető. A konferenciahívás kezdeményezésekor a készülék generál egy URL-t, egy azonosítót és egy jelszót, amiket a megfelelő személyeknek továbbítva beléphetnek a hívásba. [24] Nemcsak gyártói támogatás érhető el így azonnali jelleggel, hanem az üzemeltető szervezetén belül is használható a funkció, ha magasabb szintű véleményre van szükség és az érintett személy valamilyen okból máshol tartózkodik. Ezen felül a mérési eredmények azonnal továbbíthatóvá válnak a megfelelő szerverre, mert az eszköz képes hálózati meghajtók kezelésére. [24] Ez az adatok kiértékelése és az esetleges gyártói támogatás igénylése szempontjából jelentős (27. ábra).



27. ábra: Fent: A gyártói támogatás kérésének folyamata a jelenlegi rendszerben;
Lent: A gyártói támogatás kérésének a folyamata az endoszkóp képének megosztása esetén [saját ábra]

Az élő adattovábbítás és képmegosztás szükségességét igazolja az a nemrég (2024. november eleje) történt eset, amikor a feltárt hibát megküldték a gyártói támogató szervezetnek és az adatok alapján az hajtóműcserét javasolt. Ennek megfelelően elkezdődött a hajtómű leszállítása Kecskemétre, amikor is a vizsgálatot végző személy jelezte, hogy hibát vétett, mert rosszul azonosította be a hiba helyét. Az újabb levélváltást követően a támogató szervezet nem tartotta indokoltnak a hajtóműcserét. Az üzenetváltások időigénye és az utólagos döntéshozás miatt az érintett légijármű a tervezettnél közel két nappal tovább volt a repülésből kivonva. Emellett, ha a biztosított erőforrásnak nem lehetne találni felhasználást, amit lehetett, akkor az inflációval korrigálva 4,4-4,7 millió dolláros [26] [27] (1,7–1,8 milliárd forint [28]) kiadást

jelentett volna az üzemeltető szervezet részére. HMD használatával a vizsgálatot végző személy könnyebben tudott volna tájékozódni az erőforrás belsejében, valamint az élő kép megosztásával a gyártói támogató szervezet jelezni tudta volna a helymeghatározás helytelenségét. Az eset a légijármű 100 üzemóra utáni átvizsgálásánál történt.

Mivel az üzemóra szerinti minőségellenőrző vizsgálatokat jól lehet előre tervezni, ezért nem szükséges a gyártói oldalon állandóan működő szolgálatot kialakítani, a vizsgálattal egybekötött megbeszélést előre le lehet egyeztetni. Azok a vizsgálatok, amikor tervezetten kerül sor az erőforrás endoszkópos vizsgálatára, a 100 repült óránként elvégzendő „D” check és a 200 repült óránként elvégzendő „TS” technikai kiszolgálás. [30]

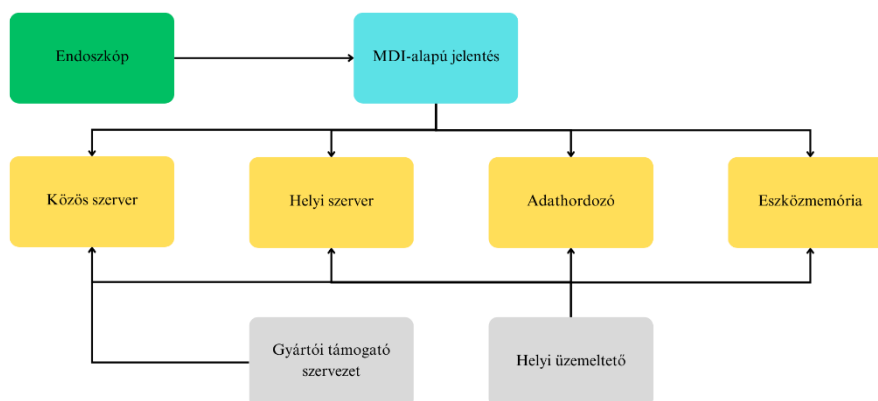
Olyan esetben, amikor a gyártói véleményezésre nem az előre egyeztetett formában van szükség, olyankor az igény megküldése után a támogató szervezet belátható időn belül készen állna az élőkép fogadására. Ezt az időtartamot a gyártói-üzemeltetői érdek, valamint a két fél közötti megállapodás szabja meg.

5.2.2 MÉRÉSPROFILOK HASZNÁLATA

Létre lehet hozni különböző mérésprofilokat – Menu Directed Inspection (nem fordítom, mivel a magyarországi szakmában is így honosodott meg) – ezzel megkönnyítve a dokumentációt. Ennek használatához először létre kell hozni a mérési profilt. Minden profil létrehozása időigényes, azonban utána nagyban meggyorsítja a vizsgálatokat, mert csak be kell lépni a vizsgálatnak megfelelőbe. A profil nemcsak a fő részegységeket tartalmazza, mint például a nagynyomású kompresszort, hanem további részegységekre is bontható. Ilyen az említett kompresszorfokozatnak az első forgó lapátsora. Ezen felül a mérési pontok is megadhatók. A vizsgálat során ki kell választani a megfelelő profilt, majd az aszerinti sorrendben elvégezni a méréseket. Az adott pont elvégzése után azt készként lehet jelölni, ezzel minimalizálva annak az esélyét, hogy egy vagy több mérési pont kimarad, ami miatt meg kéne ismételni a vizsgálatot. [24]

A mérési profilok nemcsak az adott rendszer felépítése alapján alakíthatók ki, hanem a technikai utasítás szerint is, ezért azzal szorosan együtt alkalmazható. A vizsgálat kezdetén a profil kiválasztása után megadható a vizsgált részegység, például az erőforrás sorozatszáma és a vizsgálatot végző személy. Az MDI-vel készített képeket meg lehet jelölni, hogy valamilyen hibát tartalmaznak, ahhoz leírást lehet csatolni a hiba jellegéről. Az MDI az endoszkóp többi képességével együttesen alkalmazható. [24]

Az MDI-t használva lehetséges automatizált jelentés készítése. A mérések elvégzése után a menüben ki lehet választani, melyikekről készüljön a jelentés. A jelentés tartalmazza a részegység sorszámát, a mérés idejét, a mérések helyeit, a képeket és a hozzájuk fűzött jegyzeteket. Ki lehet választani, hogy csak a megjelölt képek kerüljenek a jelentésbe. A jelentés végére lehetséges további szöveges megjegyzést írni. A jelentés menthető a készülékre, külső adathordozóra, vagy hálózati kapcsolat esetén szerverre (28. ábra). Emiatt a jelentés azonnal hozzáférhető elemzésre. [24]



28. ábra: MDI-alapú jelentés és annak lehetséges mentési helyei [saját ábra]

5.2.3. ADATOK AUTOMATIKUS KINYERÉSE

Mivel az MDI-jelentések felépítése egységesíthető, ezért lehetséges olyan program megalkotása, amivel lehetséges a szöveges adatok kinyerése és adatbázisban tárolása. A program kinyerné a vizsgálat idejét és típusát, a vizsgált részegységek sorszámát, valamint a feltárt hibákat és az azokra vonatkozó adatokat. Ezzel az automatizált folyamattal a különböző jelentések készítése egyszerűsödik, valamint mivel részegységenként elkülöníthetők az adatok, a korábban feltárt hibák változása és az újak megjelenése is azonnal nyomon követhető. Ez alapvetően az adminisztrációs feladatokat könnyítené meg.

5.2.4. SZERVEZETKIEGÉSZÍTÉSI JAVASLATOK

Ahhoz, hogy a fentebb említett képességek kihasználhatók és megvalósíthatók legyenek, az üzemeltetés hatékonyságát növelni, a típus földön töltött idejét csökkenteni lehessen, szükséges a jelenlegi üzemeltetési rendszer kiegészítése. Ezek megvalósításáról a gyártó szervezet dönt és a segítségével építi ki az üzemeltető szervezet. Ehhez tanulmányokat és elemzéseket készít hatás, megvalósíthatóság és gazdaságosság szempontjából.

Fejleszteni kell a meglévő infrastruktúrát. Lehetővé kell tenni a megfelelő minőségű és biztonságú adatkapcsolatot az endoszkóp és a rendszer többi eleme között. Fontos, hogy lehetőleg minden körülmény között biztosított legyen az adatkapcsolat a hatékony munkavégzés érdekében. Emiatt érdemes mobil internetlehetőséget alkalmazni a megfelelő biztonsági szint megtartása mellett. Emellett ki kell építeni a megfelelő adattárolási kapacitást az adatok tárolására és feldolgozására. Maga a szerver integrálható a már meglévő szoftveres környezetbe, ezért külön szoftver elkészítése nem szükséges.

A hatékony és gyors vizsgálat és adatfeldolgozás alapvető feltétele a megfelelően kiképzett kezelőszemélyzet. Emiatt a személyi állományt ki kell képezni, hogy az endoszkóp képességeit ki tudják használni, az azzal való vizsgálat készesszinten történjen. Emellett ismerniük kell a szoftveres környezet használatát is. Ezzel biztosítható az humánfaktor jelentette hiba lehetőségének minimalizálása, valamint a pontos és gyors munkavégzés.

Mindennek a háttérét biztosítaná a megfelelően módosított technikai utasítás. Azért szükséges ennek a kiegészítése, hogy az egységes és egyértelmű üzemeltetés lehetséges legyen a megnövekedett képességekkel is. Nemcsak a vizsgálatok elvégzésének módját kell meghatározni, hanem az adatok rögzítését is. Egyértelműen le kell írni az MDI-menüsorok felépítését, a különböző feliratok, jelentések formáját. Ezzel szavatolható az adatminőség, mert minimalizálható annak az esélye, hogy egy automatikus folyamaton belül az eltérő elnevezések és menüsor-felépítések miatt az adatok téves helyre kerüljenek, vagy hibajeleket generáljanak. Ezen kívül a programok felépítése is egyszerűsödik, mert az adatok felépítése és elnevezése egységes.

6. ZÁRÓ GONDOLATOK

A magyar harcászati repülőgép üzemeltetése hatékonyabbá tehető az endoszkóp képességeinek kihasználásával és az ehhez biztosított informatikai háttér megteremtésével. A mérések pontossága jelentősen megnövekedhet, nemcsak a pontos mérési technológia miatt, hanem az nagyobb kiterjedésű elemek egyszerre mérhetősége és a kiterjedés, mélység, valamint a térfogat pontos meghatározhatósága miatt is. Jelentősen csökkenthető a humánfaktor jelentette kockázat mind a pontosabb tájékoztató, mérési és vizsgálati funkciók, mind az adminisztráció részbeni automatizálása miatt. Csökkenne a repülőgép földön töltött ideje, mert a hiba visszakeresése jelentősen egyszerűsödne, könnyebben lehetne tájékozódni vizsgálat közben és a gyártó jelentősen gyorsabban tudna visszajelzést küldeni.

Összefoglalva a típus üzemeltetésének hatékonysága az endoszkóp képességeinek kihasználásával javítható. Ezzel jelentősen csökkenne a légijármű földön töltött ideje, növekedne a rendelkezésre állás és a repülésbiztonság. A képességek fejlesztéséhez gyártói-üzemeltetői érdek szükséges. A rendszer kezdeti kiépítési költsége a Magyar Honvédség nem üzleti voltából adódóan nem profit útján térülne meg, hanem az üzemeltetési költségek csökkenésén és a rendelkezésre állás, valamint a repülésbiztonság növekedésén keresztül. Ezzel a típus üzemeltetése belépne a XXI. századba.



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani Németh Roland őrnagy és Kis Csaba őrnagy Uraknak, akiknek a segítsége, szakmai jártassága és tapasztalata nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Magyarkúti József – Anyagvizsgálatok, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2008
- [2] Gruber Györgyné - Roncsolásos anyagvizsgálatok I - Szilárdságtani vizsgálatok, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2008
- [3] Gruber Györgyné - Roncsolásos anyagvizsgálatok II – Keménységmérések, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2008
- [4] Gruber Györgyné - Roncsolásos anyagvizsgálatok III - Technológiai vizsgálatok, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2008
- [5] Non-Destructive Testing (NDT) – Guidance Document: An Introduction to NDT Common Methods, British Institute of Non Destructive Testing, 2015
- [6] Non-Destructive Testing Methods and Their Application in Technology, Abdulmuttalib Abdulkareem Muhsen, 2021
- [7] dr. Békési Bertold László, dr. Kavas László, Vonnák Iván Péter – Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazásának tapasztalatai
- [8] W. Sircus, Easter Flisk, Blebo Craigs, Fife – Milestones in the Evolution of Endoscopy: A Short Story - 2003
- [9] Piet C. de Groen – History of the Endoscope, 2017
- [10] Ipari endoszkópia a roncsolásmentes diagnosztikában, elérhető: <https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/endoszkop.pdf>
- [11] Mark Curran, Brian Shrink – Basics of Fiber Optics, elérhető: <https://www.fibersystems.com/pdf/whitepapers/Basics-of-Fiber-Optics.pdf>
- [12] Alfred Ng – Video Endoscopic Metrology for Pipele Welding
- [13] dr. Rohács József – Simon István - Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989
- [14] Ronald Sterkenburg, Peng Hao Wang – Standard Aircraft Engines Handbook, McGraw Hill Education, New York City, 2021
- [15] dr. Pokorádi László – Karbantartáselmélet, Debrecen, 2002
- [16] dr. Szilvássy László – Korszerű üzemeltetési eljárások és azok mérhető paraméterei, elérhető: http://www.epa.hu/02600/02694/00029/pdf/EPA02694_rtk_2001_01_081-096.pdf
- [17] Familiarization Course – Mg 51/52

- [18] Ahmed F. El-Sayed -Aircraft Propulsion and Gas Turbine Engines, CRC Press, Boca Raton, 2002
- [19] Yongjia Xu, Xiang Qian Jiang, Feng Gao – Performance Analysis and Evaluation of Geometric Patterns in Stereo Deflectometry, University of Huddersfield, 2018
- [20] J. J. M. van Koesveld, G. W. M. Tetteroo, E. J. R. de Graaf - Use of head-mounted display in transanal endoscopic microsurgery, IJsselland Hospital, 2003
- [21] Amelia Azman, M. Hanafi Ani - Object Distance and Size Measurement Using Stereo Vision System, International Islamic University Malaysia, 2012
- [22] Andrzej Szczepankowski, Radoslaw Przysowa - Thermal degradation of turbine components in a military turbopump, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 2022
- [23] Fábián András – PPL-kézikönyv, 2010
- [24] Everest Mentor Visual iQ VideoProbe™ Operating Manual
- [25] Everest Mentor Visual iQ+ VideoProbe™ Operating Manual
- [26] Aviation Gas Turbine Forecast – Volvo/G0045 RM12, elérhető: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=989
- [27] <https://www.usinflationcalculator.com/> (utoljára megnyitva: 2024.11.14)
- [28] Microsoft Windows 11 beépített számológép valutaváltó funkcióval számolva, 2024.11.11. 19:09-es árfolyamon (1 USD = 384,66 HUF)
- [29] Pogány Tamás – Az Airbus helikopterek folyamatos légialkalmasság fenntartását irányító szervezet szükségessége, üzemeltetési és kiszolgálási rendszerei. Nemzeti Közszerológiai Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Intézményi Tudományos Diákköri Konferencia, 2023
- [30] Sárai Róbert – Repülőgép karbantartó szervezet hatékonysági kritériumok alapján történő korszerűsítési lehetősége a Magyar Honvédségnél, diplomamunka, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, 2018
- [31] JC Leverette - Meeting the SAE JA1011 Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, 2002, elérhető: <https://www.slideshare.net/slideshow/meeting-the-sae-ja1011-evaluation-criteria-for-rcm-processes/73131334>
- [32] Váradi József, Kecskeméti Termostar Hőszolgáltató kft. Akadémia körúti fűtőmű, konzultáció

[33] dr. Sánta Imre – Repülőgép hajtóművek I. (Gázturbinás hajtóművek), előadásvázlat,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszék,
Budapest, 2009

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Ábrajegyzék

1. MELLÉKLET

1. ábra: Különböző szerkezeti anyagok szakítódigramja [2].....	5
2. ábra: Vickers lenyomat [3].....	5
3. ábra: Hajlítópróba [4].....	5
4. ábra: A festékenetrációs vizsgálat folyamata [6]	6
5. ábra: A radiográfia működési elve [6].....	7
6. ábra: Lichleiter [8].....	8
7. ábra: Teljes fényvisszaverődés [10]	9
8. ábra: Az optikai szál keresztmetszete [11].....	10
9. ábra: Repedés dugattyútetőn [saját kép].....	12
10. ábra: Balra: Nyitott szelep; Középen: Zárt szelep; Jobbra: Szelepülés [saját kép]	12
11. ábra: Alacsony nyomású kompresszor [saját kép]	13
12. ábra: Magas nyomású kompresszor [saját kép].....	13
13. ábra: Balra: RM12 égésszektor üzemanyagbefecskendezővel; Középen: TV-3 Lángstabilizátor; Jobbra: TV-3 Hegesztési szegmens [saját kép].....	14
14. ábra: AI-9 indítóhajótómű turbinalapát [saját kép]	14
15. ábra: Balra: Mélységprofil; Középen: Mélység mérése; Jobbra: Szög mérése [25]	16
16. ábra: Központi kondicionáló rendszer hibája.....	17
17. ábra: Balra: RM12 égéstér repedése; Középen: RM12 alacsony nyomású turbina forgó lapátsor hibája; Jobbra: RM12 alacsony nyomású turbina álló lapátsor anyaghiba [saját kép]	17
18. ábra: RM12 ventilátorfokozat és a teherviselő keret vizsgálóníylásai lefedve (balra) és vizsgálatra előkészítve (jobbra) [saját kép].....	19
19. ábra: Meghibásodás bekövetkeztéig történő üzemeltetés gráfmodellje [15]	19

20. ábra: Kötött üzemidő szerinti üzemeltetés gráfmodellje [15]	20
21. ábra: Balra: Folyamatosan ellenőrzött paraméterek szerinti üzemeltetés gráfmodellje [15].....	20
22. ábra: Megbízhatóság szerinti üzemeltetés gráfmodellje [15].....	21
23. ábra: Állapot szerinti üzemeltetés gráfmodellje [saját, [15] [16] [30] alapján]	22
24. ábra: Fent: HMD közvetlen csatlakoztatása endoszkóphoz; Lent: HMD számítóképen keresztüli csatlakoztatása endoszkóphoz [saját ábra].....	25
25. ábra: Lapátszámláló funkció használat közben [25]	26
26. ábra: Háromdimenziós modell az endoszkópban [25]	26
27. ábra: Fent: A gyártói támogatás kérésének folyamata a jelenlegi rendszerben; Lent: A gyártói támogatás késésének a folyamata az endoszkóp képének megosztása esetén [saját ábra]	28
28. ábra: MDI-alapú jelentés és annak lehetséges mentési helyei [saját ábra].....	30