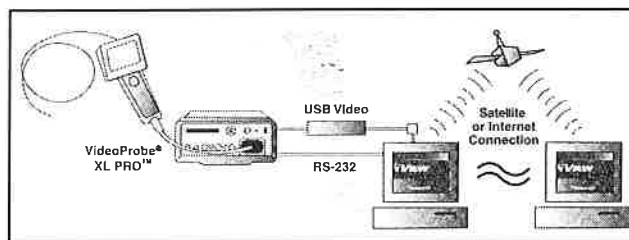


6. ábra

PC-re átvitt képek és adatok együttes kezelését segíti az **iViewPC szoftver**. Ezzel a FREE Windows alapú szoftverrel a PC-ben tárolt képek közül – az osztott képernyős megjelenítés révén (5. ábra) – gyorsan visszakereshetjük a számunkra fontosakat, és ezeken összehasonlító méréseket, elemzéseket, illetve az árnyék- vagy sztereoszondás képeken ismételt méréseket is végezhetünk, kiegészítő jegyzeteket írhatunk hozzájuk, és felhasználhatjuk a korábbi állapotot is figyelembe vevő szakvéleményünkhöz, amelyet különböző formátumban (pl. JPEG, BMP) vilámpostával (e-mail) továbbíthatunk.

zájuk, és felhasználhatjuk a korábbi állapotot is figyelembe vevő szakvéleményünkhöz, amelyet különböző formátumban (pl. JPEG, BMP) vilámpostával (e-mail) továbbíthatunk.



7. ábra

Az új **iView Remote szoftverrel**, a grafikus kezelői interfész (6. ábra) kapcsolaton át, saját PC-ről távműködtethető a VideoProb XL PRO endoszkóp minden funkciója. Így a kezelő a PC-jén élőben ellenőrizheti a képeket, méréseket végezhet azokon a választott módszerrel, illetve elmentheti azokat. Sőt, az iView Remote szoftverrel támogatott internetbázisú távműködtetés is megvalósítható (7. ábra). A kezelő a nagy sebességű internetkapcsolaton keresztül földünk túlsó feléről is működtetheti a VideoProb XL PRO endoszkópot!

## A gépi ultrahangos vizsgálatok fejlesztése a Paksi Atomerőműben

Palásti József – Pinczés János – Szabó Dénes – Paczolai Győző – Wayer Zoltán – Straszer Krisztina – Csúz Imre – Sárközi Lucia – Brezovszki János – Magyar István\*

A gépi ultrahangos vizsgálatok területén, a hosszú évek óta tartó fejlesztő és elemző munkát folytatva, továbbra is a reaktor és a gőzfejlesztő primer kollektor vizsgálata a legfontosabb két terület.

A primer kollektor menetes fészkei környezetének (ligament) vizsgálata ma már gyakorlatilag rutinszerű, egy jól működő, magyar fejlesztésű manipulátort magában foglaló rendszerre épül. Mivel a legtöbb ligament részt legalább kétszer teljes terjedelemben átvizgáltuk, ezen a területen a fő cél a vizsgálatok finomítása. Egyértelmű, hogy minél sűrűbb letapogatást, azaz kisebb léptetést alkalmazunk, annál részletesebb grafikus megjelenítés áll rendelkezésünkre a vizsgálati területről. A lehetőségek figyelembe vételével az osztósík felőli, illetve a belső felületnél a menetes fészkek alsó területeit mutató letapogatásoknál 1–2 mm-es léptetéssel is készíthetünk felvételeket.

Az elmúlt évben (2002) befejeződött a ligament vizsgálat próbaminősítése. Ennek eredményeit felhasználva kívánjuk továbbfejleszteni a vizsgálórendszert. A fő gondot, mint általában a legtöbb időszakos anyagvizsgálat esetén, a megbízható, a szilárdsági számításokra, illetve a berendezés eddigi üzemeltetési adataira épülő, a kritikus hibák jellegét és méretét tartalmazó elemzés hiánya jelenti.

A primer kollektor varratainak (egy-egy körvarrat a csőkötegek felett és alatt és egy körvarrat a kollektor és az NA 500-as csővezeték között) vizsgálatára rendelkezésünkre áll egy átalakított manipulátor, amellyel hagyományos vizsgálófejek alkalmazásával hajtható végre a letapogatás. E rendszer komoly hátránya az, hogy a geometriai korlátok és a fejcsoport viszonylag nagy méretei miatt a varratok jelentős területe kimarad a letapogatásból. A vizsgálható varratrész növelése érdekében vagy többszöri, különböző vizsgálófejekkel végzett letapogatásra, vagy fázisvezérelt vizsgálófejekkel végzett letapogatásra van szükség. Az időkorlátok miatt Pakson az utóbbi utat választottuk. Elkészült egy olyan, magyar fejlesztésű manipulátorra épülő, fázisvezérelt fejeket tartalmazó berendezés, amellyel 2003-ban kiemelt mennyiségű kollektort kívánunk megvizsgálni. Ezen a területen a továbblépést a vizsgálófejek paramétereivel szemben támasztott követelmények pontosítása, illetve a pontosított adatok alapján elkészített vizsgálófejek üzembe helyezése jelenti.

A reaktortartályok külső vizsgálatának fejlesztése több mint egy

évtizede megállás nélkül folytatódik. Ez a fejlesztés kiterjedt a vizsgálatokhoz használt berendezések, eszközök mindegyikére. Folyamatosan modernebb mechanikát, vezérlést használunk. Több lépcsőben megváltoztattuk a fejcsoportot is. A tartály belső és külső felület felől történő vizsgálata során szerzett tapasztalatok alapján ma már a legfontosabb vizsgálati cél a tartály belső felületén található plattírozás, a varratgyök, valamint a plattírozásnak és az alapanyagának a határfelülete. A belső vizsgálat esetén ez azt jelenti, hogy a vizuális vizsgálat korlátjai miatt hangsúlyozott szerepet kap az örvényáramos vizsgálat. Igény esetén akár az egész belső felület örvényáramos vizsgálata elvégezhető.

A külső vizsgálatok esetében a fő cél olyan fejcsoport kialakítása, amelyik a letapogatási idő, az érzékenység, és a méret-meghatározás tekintetében optimálisnak nevezhető. A legújabb fejcsoport négy fázisvezérelt vizsgálófejből és egy fókuszált, merőleges vizsgálófejből áll. Az erre a fejcsoportra felépített vizsgálati program lehetővé teszi nem csak az alapanyag és plattírozás határfelületének, de a plattírozásnak a megbízható vizsgálatát is a külső felület felől. A Karbantartó Gyakorlóközpont reaktortartályában elhelyezett bemetszéseken, valamint a TR1 etalonon végzett mérések alapján egyértelműen megállapítható, hogy ez az irány helyes. Külső vizsgálatokkal ellenőrizhető a plattírozás állapota is. A kulcskérdés ebben az esetben az, hogy milyen repedésméretet kell megbízhatóan kimutatni egy négyéves ciklusú vizsgálat esetén. Az erre vonatkozó elemzések még nem készültek el. Alapvetően két lehetőség van. Amennyiben a kritikus repedésmélység alapján kiszámított kimutatási határ meghaladja a 2-3 millimétert, valószínűleg a jelenlegi fejcsoport megfelel a feltételeknek. Ha ennél kisebb repedésméret kimutatása válik elengedhetetlenné, akkor vagy ki kell egészíteni a fejcsoportot fókuszált hagyományos vizsgálófejekkel, vagy a fázisvezérelt vizsgálófejek helyett fókuszált hagyományos vizsgálófejekből álló fejcsoport kialakítására van szükség. Az érzékenység és a megfelelő kimutatási szint igazolása céljából mindkét esetben feltétlenül szükség lesz olyan plattírozott próbatestekre, amelyek a plattírozásban valós repedéseket tartalmaznak.

A reaktortartály vizsgálatánál kiemelt terület a csomópont vizsgálat. Az utóbbi években a hagyományos vizsgálófejekre épülő külső vizsgálatok során több olyan műszaki problémával találkoztunk, amelyek miatt célszerűnek tartottuk fázisvezérelt vizsgálófejekre épülő fejcsoportok kialakítását. A bonyolult geometria miatt elengedhetetlen olyan

\* Szerzők a Paksi Atomerőmű Rt. munkatársai

fázisvezérelt vizsgálófejek alkalmazása, amelyeknél a plexi előtét cserélhető. Ez azt jelenti, hogy a vizsgálófejek cseréje helyett a plexi előtét cseréjére van szükség, valószínűleg nem csökken a szükséges szerelések ideje, de jelentős mértékben csökken a csatlakozóknál felépítő kontakthibák száma.

Az idei évben elkezdődik a primerkörü csővezetékek gépi ultrahangos vizsgálatához szükséges manipulátor park kiépítése, illetve a reaktor-tartály geometriai okok miatt nehezen vizsgálható 5-ös számú varratának külső vizsgálatára alkalmas mechanika kifejlesztése.

Összefoglalva a fent leírt folyamatokat, megállapíthatjuk, hogy vizsgálati területtől függően a hibakimutatás mellett egyre nagyobb szerepet kap a vizsgálatok finomítása, az érzékenység növelése. Mindez azt jelenti, hogy a gépi ultrahangos vizsgálatok egyre több területre történő kiterjesztése mellett fontos feladat a már jól működő vizsgálatok továbbfejlesztése is. Mindkét esetben kulcskérdés a megbízható elfogadási kritériumok megléte, mert csak erre az információra épülő fejlesztések lehetnek hatékonyak és az időszakos vizsgálatok ilyen szempontból hosszú vizsgálati idejét figyelembe véve elég gyorsak.

## Gázturbinás erőművi egységek állapotvizsgálatának tapasztalatai

Rózsavölgyi Zsolt\* – Bánki Gábor\*

A hazai energiatermelő rendszerben egyre nagyobb számban jelennek meg korszerű, környezetbarát gázturbinás erőművi egységek. A jobb hatásfok elérése érdekében nemcsak a villamosenergia-termelésében vesznek részt, hanem jelentős hőszolgáltató szerepük is van. Éppen ezért a megbízhatóság, csúcserőművek esetében pedig a rendelkezésre állás, kiemelt fontosságú. Ennek biztosítása érdekében rendszeres állapotellenőrző vizsgálatra van szükség, mely több ponton eltér a hagyományos, fosszilis energiaforrású erőművekben alkalmazottól. A cikk rövid áttekintést kíván adni a gázturbinás egységek szerkezeti anyagairól, azok vizsgálatára alkalmazható roncsolásmentes, mechanikai és analitikai vizsgálatokról.

### Bevezetés

Környezetvédelmi, gazdasági és megbízhatósági követelmények indokolják, hogy hazánkban egyre több gázturbinás egység üzemel, illetve több erőmű távlati fejlesztési terveiben szerepel ez a megoldás. A gázturbinás erőművek egy modernebb technológiát képviselnek a hagyományos, fosszilis tüzelésű, szubkritikus gőzparaméterekkel rendelkező energiatermelő rendszerben. Nemcsak hatásfokuk nagyobb (önálló gázturbina  $\eta = 0,32-0,38\%$ , kombinált gáz-gőz körfolyamattal  $\eta = 50-55\%$ ), hanem a beépített szerkezeti anyagok, illetve alkalmazott technológiai és diagnosztikai rendszerük alapján is korszerűnek tekinthetők, szemben a magyar energiarendszer 35% körüli összhatásfokával és 100 000 üzemórát meghaladó korával.

A gázturbinás erőművi egységek kompaktnak, jellemzően típusstervek alapján épülnek. Fejlődésük folyamatos volt, azonban az utóbbi 20–25 évben ugrásszerű változásokon mentek át a beépített anyagok. A cél mindig is a hatásfok növelése volt, ez pedig a turbinába belépő gázközeg hőmérsékletének emelésével érhető el legegyszerűbben. Az alkalmazható legmagasabb hőmérsékletnek mindig a felhasznált anyagok tulajdonságai (elsősorban a hő- és korrózióállóság, valamint a tartam-szilárdság) és az alkatrészek hűtésének hatásossága szabta határt. A mai korszerű, illetve fejlesztés alatt álló gázturbinák munkaközége 1100 °C vagy e feletti hőmérsékletű, viszont az égőkamrák, illetve a turbina első fokozataiban a beépített anyag hőmérséklete nem haladhatja meg a 850–900 °C-ot huzamosabb időn keresztül. Ezért a kritikus alkatrészek (pl. a turbina első lapátsora, az égőkamrák) hűtötték és bevonattal ellátottak.

A gázturbinás erőművek jellemzően változó terhelési igények (csúcserőművek), illetve hőszolgáltatási igény (kombinált ciklusú erőmű) kielégítésére szolgálnak. Üzemeltetési technológiájuk a konvencionális gőzerőművektől eltérő, rugalmasabb üzeműek, de ebből adódóan a szerkezeti elemek nagyobb hő- és/vagy mechanikai igénybevételre szenvednek el. Ez különösen az indítás során jelent problémát, hiszen a leggyorsabban indítható gázturbinák esetében az indítás és a maximális teljesítmény elérése között kb. 30 perc telik el, és a 7. perctől kezdve

folyamatosan növekvő teljesítmény mellett üzemelhetnek. A beépített anyagok által megengedett hőfeszültség-változás sebessége határozza meg a megengedett terhelésváltoztatási sebességet.

### A gázturbinák szerkezeti anyagai

Az alkalmazott szerkezeti anyagok kiválasztását az üzemeltetési paraméterek és a környező közeg állapota határozzák meg. Ebből a szempontból az égőtér és a turbina első lapátsora a kritikus helyek, hiszen ezek szenvedik el a legnagyobb hő- és mechanikai igénybevételt. A nagy hőmérsékletű gázturbinák lapátanyagaként nikkell- és kobaltbázisú szuperötvözeteket alkalmaznak. A futólapátokat általában nikkell-ötvözetből, míg az állólapátokat kobalt-ötvözetből készítik.

Az első generációs lapátanyagok kezdetben a hagyományos (polikristályos) króm-nikkel acélöntvények, majd később már nikkellbázisú ötvözetek voltak. A króm-tartalom fokozatos csökkentése mellett jelentek meg más, szilárdságnövelést előidéző ötvözők (molibdén, volfrám, nióbbium). A kúszási tulajdonságok szempontjából kulcsszerepük van a kristályhatároknak, ezért a tartam-szilárdság javítása érdekében kifejlesztették az irányított dermedésű (directionally solidified – DS), oszloposan kristályos lapátokat. További hőmérsékletnövelést tesz lehetővé az egykristályból (single crystal – SC) álló lapátok alkalmazása.

A második generációs szuperötvözetek már irányított kristályosítású, réniummal-ötvözött anyagok. Igen fontos követelmény a szilárdságnövelés mellett az oxidációs ellenállás növelése és a hőtágulási egyűthetőség csökkentése.

A fejlesztés következő lépcsőfokát a keramikus anyagok (oxide dispersion strengthened – ODS) jelentik, amelyek jelenleg kísérleti stádiumban vannak, konkrét üzemi tapasztalatok még nem állnak rendelkezésre velük kapcsolatban.

A fejlesztés másik irányát a lapátok bevonattal való ellátása és intenzív hűtése képezi. A bevonat feladata elsősorban a nagy hőmérséklettel járó korrózióval szembeni védelem biztosítása és hőszigetelő réteg létrehozása a lapát felületén. A legkorszerűbb lapáthűtési mód az ún. szívárogtató filmhűtés, amelynél a turbinalapát felületén képződő határ-réteg látja el a hővédelmet.

### A berendezések legjellemzőbb károsodási formái

A beépített anyag, a konstrukció és az üzemeltetési paraméterek egymásra hatásából számos károsodási forma léphet fel a gázturbinákban.

A leggyakrabban előforduló anyagfolytonossági hiány a felületi repedés, mely gyakran anyagfáradásra vezethető vissza. A legtöbb alkatrész üzem közben váltakozó mechanikai igénybevételnek, rezgésnek és nagy hőmérsékletnek van kitéve, amelynek eredőjeként mikrorepedések, majd makroszkópos méretű hibák keletkezhetnek. Ezek elsősorban a mozgó alkatrészek (pl. kompresszor- és turbina-lapátok) vagy a tűztéri kamrák esetében veszélyesek. A tengelyen a fáradásos repedé-

\*AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt.