1.02
5.06

Erőművi rendszerek üzemeltetésének és élettartamának optimálása

Tárgyszavak: erőmű; üzemeltetés; állapot-ellenőrzés; élettartam; öregedési modell.

Az öregedés vizsgálatának bevonása az optimálási eljárásba

Az ABB vállalatnál jelenleg fejlesztett szoftver erőművi rendszerek várható élettartamának leírására alkalmas, a hasonló megoldásoktól eltérően azonban figyelembe veszi a terhelés és a berendezések terhelésfüggő öregedésének hatását is, így lehetőséget ad az üzemeltetőnek a közvetlen nyereségek maximálása és az élettartam csökkenése közötti kompromisszum, az optimális üzemvezetési stratégia megválasztására.

A jelenleg prototípusfázisban levő „Industrial^{IT} for Power Generation – Lifecycle Optimizer" (élettartam-optimális) szoftverrel olyan üzemirányítási stratégiákat lehet meghatározni, amelyek a bevétel maximálása mellett az összes további, a biztonságra, az NO_2-kibocsátásra, a berendezések öregedésére stb. vonatkozó követelményt kielégítik. A vizsgált szoftver meghatározott üzemviteli módoknak a rendszer öregedési folyamatára kifejtett hatását is bevonja az optimális üzemeltetés meghatározásának általános problémakörébe.

Az erőművi rendszer gazdaságosságának optimálása mellett az üzemvitel optimálása során egyéb körülményeket, így a villamos energia előállításának fajlagos költségeit, a rendszer elemeinek minimális működési és állásidejét, az indítási és leállítási időket, a minimális, ill. maximális teljesítményleadást és különféle indítási feltételeket is figyelembe kell venni. Az üzemvitelt optimáló eljárás központi magja az alábbi, több feltételt figyelembe vevő és a költségeket a szabályozások alapján minimáló, a rendszer optimális üzemét garantáló függvény:

$$J[u] = \int_{t}^{t+T} \{e\,[\tau, u(\tau)] + c\,[\tau, u(\tau)] - q\,[\tau, u(\tau)]\}\, d\tau$$

Ahol

T: az optimálás időhorizontja (néhány napos időtartam),

u: $[t, t+T] \rightarrow R^n$: az erőművi rendszer szabályozása, jelen esetben a vizsgált kombinált erőműben előállított villamos és hőteljesítmény,

e: avulási költségek a rendszer elemeinek öregedése alapján,

c: termelési költségek,

q: bevételek, amelyek időfüggők lehetnek, és amelyek a szabadpiacon folyó villamosenergia-kereskedelem következtében változnak.

Amint az egyenletből látható: az *e*, *c* és *q* vektorok függenek az erőműrendszer szabályozásának *u* vektorától. Ezek alapján az élettartam-optimálási modell az erőműrendszer [t, t+T] időtartamon belüli viselkedését és öregedését is előre tudja jelezni.

Öregedési modell

Az erőművi rendszer élettartamának megítéléséhez a konstrukció és az alkalmazott anyagok, a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek jellemzőinek ismeretén túl olyan öregedés-, ill. élettartammodellek szükségesek, amelyek közvetlen kapcsolatot teremtenek az erőmű terhelése és az élettartam között, valamint figyelembe veszik az egységek előtörténetét.

Az öregedés számításának alapja a szerkezeti anyagokban már eleve jelen levő, a mikrotartományba eső repedések létezésének és ezek üzem közbeni növekedésének feltételezése. Az élettartam meghatározásának alapja egy kritikus ponton levő mikrorepedés feltételezése, majd e repedés terjedésének modellezése, amíg egy megadott, kritikus méretet ér el.

Az élettartam-optimálási eljárás szerint nem kell ismert, mérhető méretű repedésből kiindulni, hanem a repedés növekedését leíró egyenleteket olyan absztrakt modellként használják, amellyel az alkatrész élettartamának csökkenése számítható. Tehát a mikrorepedés növekedését leíró egyenletek olyan eszközök, amelyek az alkatrész meghatározott terhelésprofil esetén bekövetkező öregedését ábrázolják *(1. ábra).*

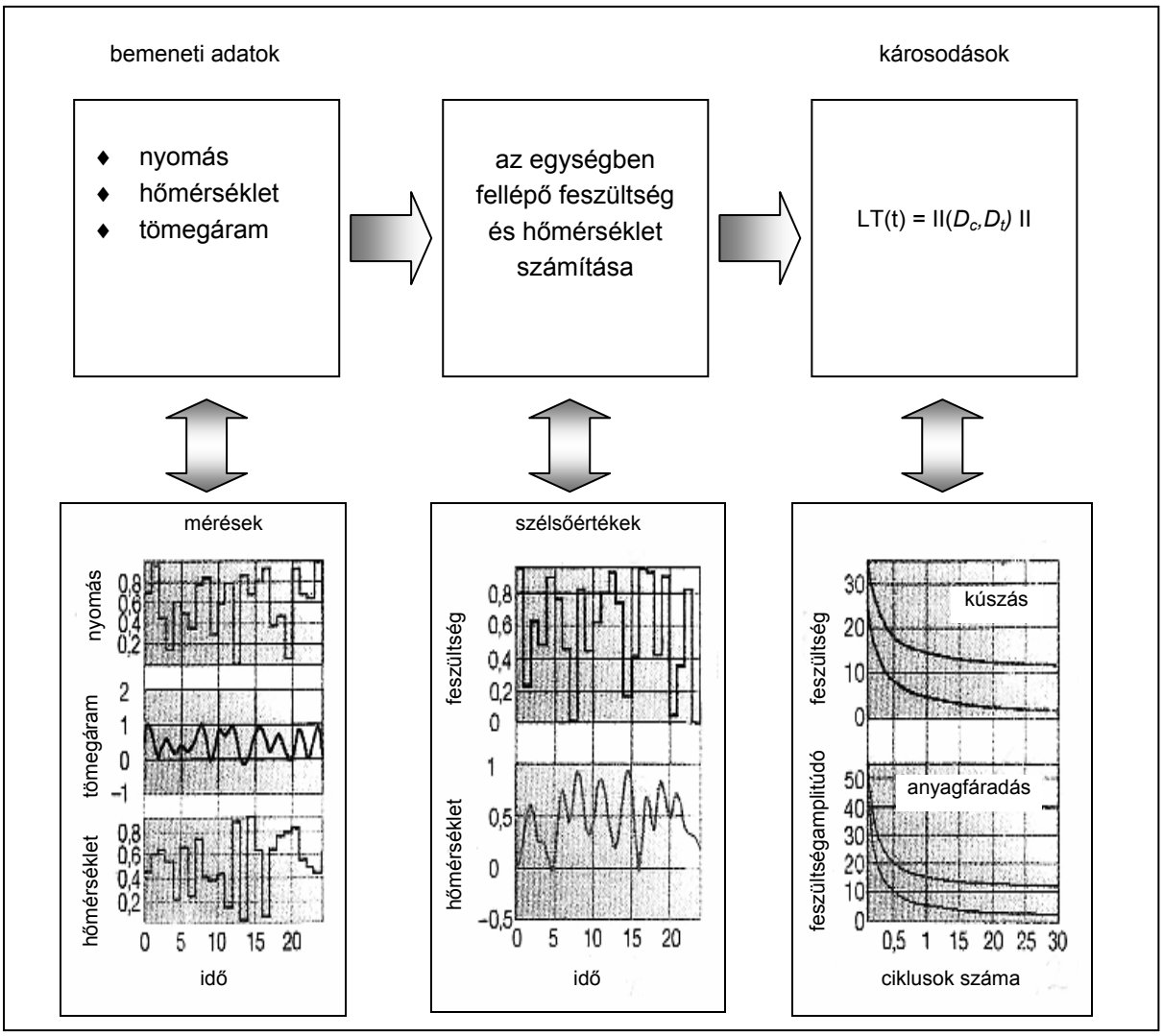
A repedések növekedési sebessége a terhelés módjától és erősségétől függ. Állandó terhelés esetén a szerkezeti anyag kúszása alapján határozható meg. Ciklikusan változó terhelés esetén a szerkezeti anyag fáradása a repedések növekedésének alapja. A mikrorepedések terjedésének módszere alkalmas a terheléstől független folyamatok, így a korrózió, az erózió, az oxidáció figyelembevételére is.

A teljes rendszer öregedésének megítéléséhez valamennyi összetevőt figyelembe kell venni. Mivel ezek öregedési folyamatát a várt repedéshosszúság normalizált értékét egy összetevőfüggő kritikus repedéshosszúsághoz viszonyítva határozzák meg, a különféle alkatrészek közvetlenül összehasonlíthatók. E normalizált alkatrész életkorát használva különböző, a rendszer teljes élettartamára vonatkozó mértékek definiálhatók.

Az öregedés figyelembevétele

Egy rendszer öregedési folyamata az üzemvitel módjától és az ezzel összefüggő terheléstől függ. Az ABB szoftveres megoldása a rendszer

elemeinek öregedését a repedés növekedését leíró modellek analógiáját alkalmazva az egységek vagyonértékének definíciójával fejezi ki. E két elemet kombinálva az élettartam változását a terheléstől függően írja le. Ebből az öregedés és a rendszer teljes élettartamának gazdasági értéke vezethető le. Az élettartam csökkenésének figyelembevétele nem egyszerű, mivel időben diszkrét és folytonos folyamatokat, mint például az anyagfáradást és a kúszást is figyelembe kell venni.



1. ábra Az élettartam számításának lépései

Az elemzést megkönnyíti az, hogy az anyagfáradás és a kúszás egymástól függetlenül kezelhető. Az anyagfáradás általában csak akkor lényeges, ha súlyos termikus lökések fordulnak elő. Ez általában csak a rendszer indításakor és leállításakor következik be, és így az élettartam e műveletekkel összefüggő csökkenése az indítási és leállítási műveleteket terhelő, járulékos költ-

ségtényezőként vehető figyelembe. Ezzel szemben a kúszás minden üzemállapotban bekövetkezik, és nem kezelhető szokványos, statikus optimálás keretei között.

A megoldásra két lehetőség kínálkozik, mindkettő mennyiségileg fejezi ki a rendszer üzemmódjának hatásait.

A klasszikus eljárás célja mennyiségileg kifejezni, hogy meghatározott üzemviteli stratégia a rendszer gazdaságosságára milyen hatást gyakorolt. A második, sokat ígérő új eljárás úgy ábrázolja az optimálási problémát, hogy a rendszer élettartamának előírt alakulását követi.

A számítás két, a szabadpiac körülményei között fontos jellemző adatról ad tájékoztatást: az előállított energia kWh-ra vonatkoztatott költségeiről (amelyek figyelembe veszik az öregedéssel kapcsolatos költségeket) és az előállított teljesítményről.

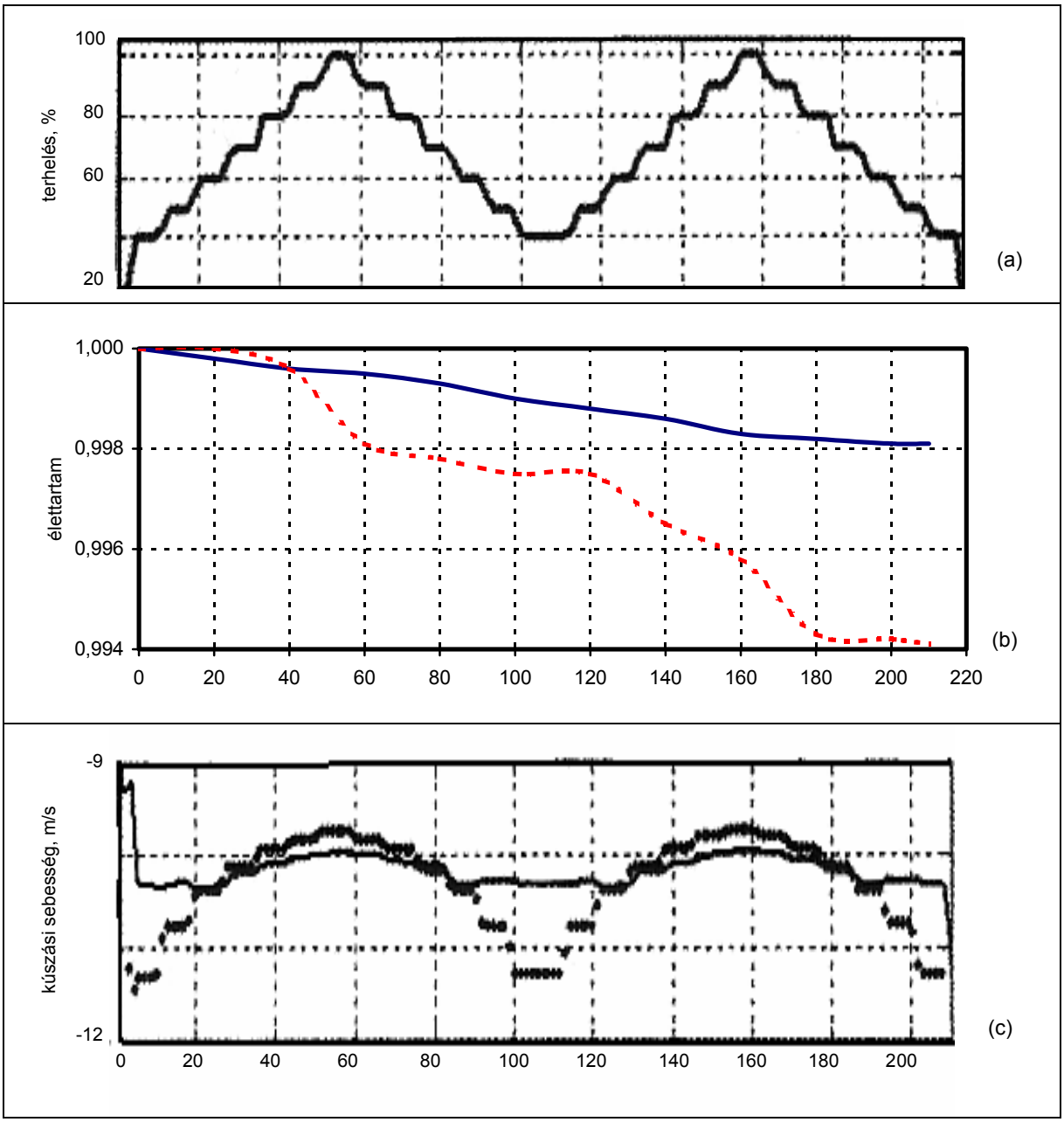
Liberalizált energiapiacokon az olyan pénzügyi eszközöknek, mint a részvényárfolyamok, a kockázatelemzések, az opciók, a származékos hatások stb. központi szerepük van. Érdekes gondolat az ilyen piacon tevékenykedő erőművet egyszerűen pénzügyi vagyonértéknek tekinteni, amelynek értéke az idő függvénye. A rendszer tulajdonosa tehát nem csak a közvetlen nyereség iránt érdeklődik, hanem rendszerének csökkenő értékével is foglalkozik, amely pedig közvetlen kapcsolatban áll a maradék élettartammal. Így lehetőség van a rendszer élettartamának becslésére, és a működtetés új lehetőségeinek meggondolására. A tulajdonos például úgy is működtetheti a rendszerét, hogy az élettartama előírt függvény szerint változzon. További lehetséges alkalmazás meghatározott karbantartási terveket kielégítő üzemvitel.

Nyereség mínusz értékcsökkenés

Az élettartam-optimálás számára gázturbinát, gőzturbinát, hővisszanyerő gőzfejlesztőt tartalmazó kombinált erőműhöz fejlesztettek ki élettartammodelleket. Ezekkel előrejelezhető az élettartam csökkenése és a repedések kúszás következtében bekövetkező növekedésének sebessége *(2. ábra).*

A *3. ábra* az optimálási eljárással meghatározott eredményeket szemlélteti. A 3. a. ábra a számított optimális terhelést mutatja az élettartammodellezést figyelembe véve (pontozott vonal), illetve figyelmen kívül hagyva (folytonos vonal). Feltűnő, hogy az élettartam-kompromisszumot a megfontolásokba bevonva a rendszer üzeme kevésbé agresszívvé válik. Ezeket a szabályozásokat a gőzturbina csővezetékeire, házára és forgórészére vonatkozó élettartammodellekkel határozták meg.

A 3. ábra továbbá a rendszer értékének célfüggvénynek megfelelő változását (3. b. ábra), valamint a termelt villamos energia eladásából származó, összegzett bevételeket (3. c. ábra) is mutatja. Megfigyelhető, hogyan „takarékoskodnak” a rendszer értékével a kevésbé közvetlen nyereségek rovására.

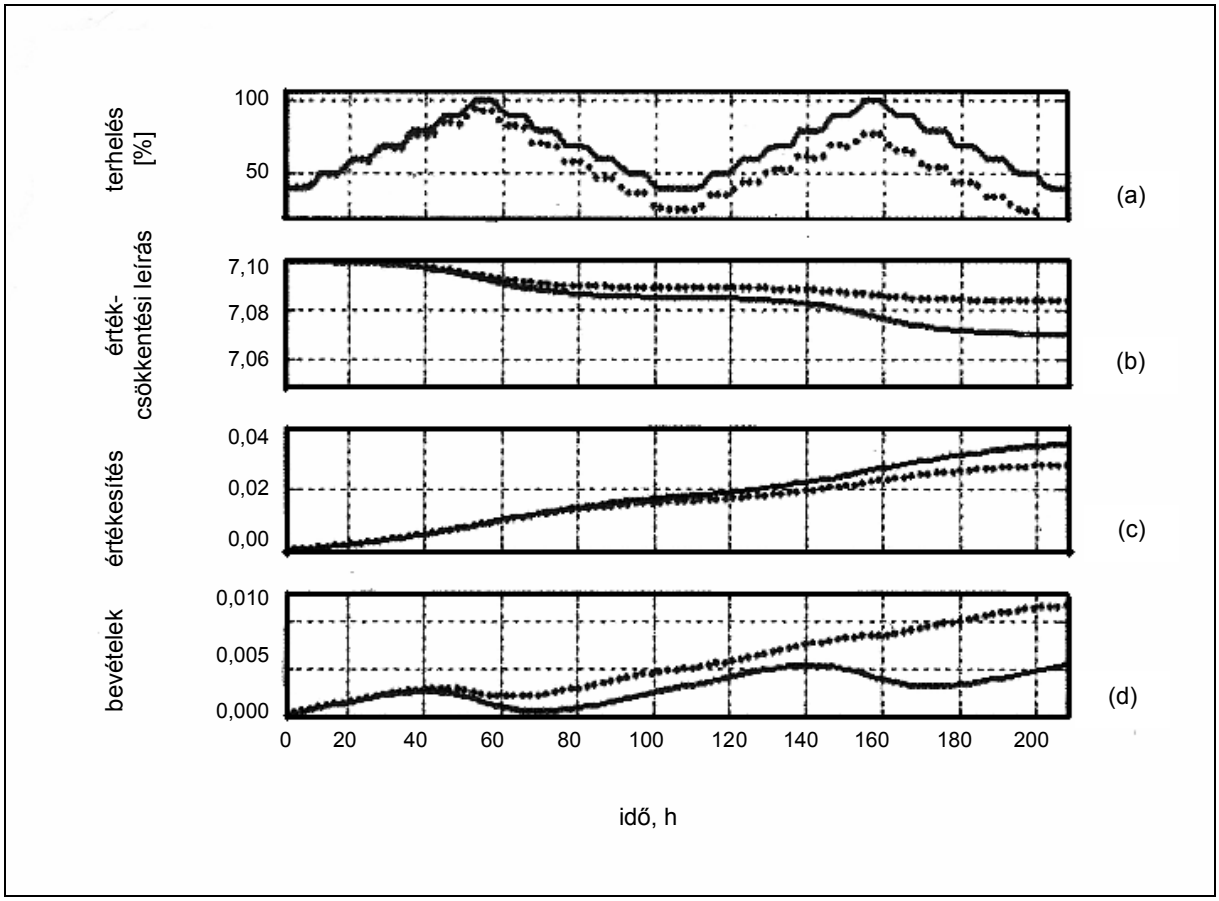


Gőzturbina házára (szaggatott vonal) és forgórészére (folytonos vonal) vonatkozó eredmények.
A három diagramon a terhelésprofil, az élettartam és a kúszási sebesség látható

2. ábra Szimulációk eredményei

Végül a 3. d. ábrán mutatkozik meg az, hogy a kezdetben agresszív, tehát az élettartamra vonatkozó paramétereket és a repedésnövekedési modelleket figyelmen kívül hagyó stratégia nem optimális, és meghatározott időtar-

tományokban akár veszteségekkel is járhat; ez az élettartam-optimálási modell alkalmazásával elkerülhető. A repedések növekedését leíró modellek nem csak a terhelésfüggés modellezését teszik lehetővé, hanem a rendszer terhelésének korábbi szakaszait (memory-effektus) is figyelembe veszik.



3. ábra Az erőmű teljesítménye az élettartam-optimálási szoftver alkalmazásával és anélkül

(Pálinkás János)

Antoine, M.; Stothert, A.: Betriebs- und Lebensdaueroptimierung von Kraftwerken. Einbezug der Alterung in das Optimierungsverfahren. = Bulletin SEV/VSE, 93. k. 21. sz. 2002. okt. 11. p. 27–30.

Gallestey, E.; Stothert, A. stb.: Model predictive control and optimisation of power plant load while considering lifetime consumption. = IEEE Transactions on Power Systems, 17. k. 1. sz. 2002. febr. p. 186–191.