

VIII. Évfolyam 4. szám - 2013. december

Fenyvesi Csaba
fenyvesic@npp.hu

ERŐMŰVI ÜZEMVITELI FOLYAMAT MODELLEZÉSÉNEK KEZDŐ LÉPÉSEI

Absztrakt

Erőművi üzemviteli folyamat modellezése segítséget nyújt az üzemviteli folyamat erősségeinek és gyengeségeinek feltárásához. A modell lehetőséget ad az üzemviteli folyamat optimalizálására, ami növeli a termelésbiztonságot. Nukleáris erőmű esetén a modell eredményei a nukleáris biztonság növelésének lehetőségeit is magukban hordozhatják.

Power plant operation process modeling helps you to explore the strengths and weaknesses of operation process. The model allows the optimization of the operation process, which increases the safety of production. In case of a nuclear power plant the results of the model may increase the nuclear safety.

Kulcsszavak: *üzemeltetés, modell, erőmű ~ operation, model, power plant*

BEVEZETÉS

Mindennapi életünk során szinte észrevétlenül, rengeteg energiát használunk fel. Az emberi hétköznapi élet komfortjának növeléséhez, a munkatevékenységek könnyebbé, termelékenyebbé tételéhez, a gyors utazás megvalósításához, a szabadidő tartalmas eltöltéséhez és még megszámlálhatatlan cél eléréséhez használunk különböző energia fajtákat, mint pl. hő-, villamos-, kémiai, mechanikai energiát [1].

A különböző energiák felhasználhatósága más és más, az egyes energiák hasznossága alapvetően függ az energia fajtájától. Ha az energiák végső felhasználását tekintjük, akkor a három legfontosabb energiatípus a villamos, a hő és a mechanikai energia. Ezek közül is kiemelt szerepe van a villamos energiának. Ennek oka a villamos energia egyszerű felhasználhatósága és tárolhatósága (igaz ez csak nem túl nagy kapacitásban valósítható meg), elhanyagolható hulladék vagy szennyezőanyag kibocsátása, megbízható szállíthatósága, jó szabályozhatósága stb. A villamos energia fő hátránya a nagy mennyiségben történő tárolhatatlansága és a komoly infrastruktúrát igénylő távvezeték hálózaton keresztül történő szállítása.

A villamos energia rendelkezésre állása és ára alapvetően befolyásolja a mai ember életét, életminőségét, a gazdaság versenyképességét. Nagy mennyiségű előállítását gazdasági megfontolások miatt célszerű koncentráltan, erőművekben elvégezni. A nagy erőművek mellett természetesen a lokálisan előállított villamos energia szükségessége sem kérdőjelezhető meg, az optimális termelési és elosztó hálózat kialakítása a rendelkezésre álló természeti erőforrások és gazdasági lehetőségek figyelembe vételével és optimalizálásával alakítható ki.

A villamos energia gazdaságosságának egyik fő tétele a villamos energia előállításához kapcsolódik. Az olcsón előállított villamos energia valószínűleg olcsón adható el a villamos energia piacon, ami a fogyasztók számára egyértelmű előnyt jelent.

A villamos-energia fejlesztés költsége üzemeltetési és beruházási költségekre osztható fel [1]. A beruházási költség egyszeri költség, amely az erőmű építésének egyszeri költségét, míg az üzemeltetési költség a villamos energia előállításának minden költségét magába foglalja az erőmű üzembe helyezésétől, az üzemeltetésen át a leszerelésig. Az üzemeltetési költségek állandó és változó költségösszetevőkre bonthatók. A változó és állandó üzemeltetési költségekbe a tüzelőanyag, az üzemviteli, a karbantartási és egyéb költségek tartoznak bele. A változó költségek a megtermelt villamos energia mennyiségétől függően változnak, míg az állandó költségek attól függetlenek.

A villamos energia fejlesztés költségeinek csökkentése a termelési folyamat alapos ismerete, elemzése majd a fejlesztendő területek hatékonyságának növelése révén lehetséges. A hatékonyság növelése mind a megvalósított fizikai rendszerek műszaki mind az üzemeltetési folyamat optimalizálásával lehetséges.

Az optimalizálás elvégezhetőségéhez rendelkezni kell valamilyen modellel, például matematikai modellel. A matematikai modell a valóságos rendszernek vagy folyamatnak azokat a tulajdonságait teszi matematikai segítséggel láthatóvá és kezelhetővé, amelyek segítségével a kívánt optimalizálás elvégezhetővé válik. A modellezés egy olyan folyamat, amely segítségével a valóság (rendszernek vagy folyamatnak) lényegi tulajdonságainak felismerése, kiemelése és valamilyen kezelhető és analizálható formájú leképezése válik lehetségessé. Technikai rendszernek vagy műszaki folyamatnak az elemzése egy rendszermodell megalkotását igényli. [2]

Technikai rendszerek és folyamatok modellezésére széles irodalom áll rendelkezésre. Gépész rendszerek és folyamatok átfogó modellezését ismerteti POKORÁDI [2] könyvében. ZVIKLI a műszaki, üzemviteli és gazdálkodási tevékenységek rendszerszemléletű megközelítését és tárgyalását végezte [3] irodalomban. Általános folyamatmodellezést ismerttet GERIT [4] művében, vegyipari példákon keresztül ismerkedhetünk meg a rendszermodellezéssel és analízissel SZEIFERT-CHOVÁN-NAGY-ALMÁSY által írt [5]

irodalomban továbbá gépészeti rendszerek determinisztikus és sztochasztikus folyamatainak elméleti összefoglalását és feldolgozását végezte el NAGY [6] művében. Gazdasági és megbízhatósági elemzésekről, folyamatok modellezéséről Dr. KÖVESI-ERDEI-Dr.TÓTH által írt [7] irodalomban olvashatunk részletesen.

Jelen cikkben egy atomerőművi üzemeltetési, azon belül is a tényleges üzemviteli folyamat modellezési lehetőségei kerülnek röviden bemutatásra fenti irodalmak alapján. Atomerőműről lévén szó kiemelten kell foglalkozni a nukleáris biztonsággal, amit az INSAG-15 [8] kiadvány a biztonsági kultúra magas színvonalának kialakításával és biztosításával azonosít.

A cikk 2. fejezete egy erőművi folyamatot ismertet a hozzá kapcsolódó üzemviteli folyamattal. A 3. fejezet az erőművi technológiai rendszerek normál üzemi ellenőrzését, míg a 4. fejezet az üzemviteli folyamat minőségének, megbízhatóságának kérdéseit mutatja be. Az 5. fejezet az üzemviteli folyamat további vizsgálati lehetőségeit vázolja a 6. fejezet összegzi a cikkben leírtakat.

ERŐMŰVI FOLYAMAT BEMUTATÁSA

A fogyasztói villamos energia igény kielégítése az egész országot behálózó országos villamos elosztórendszeren keresztül valósul meg. Az országos villamos energiarendszer nem önállóan működik, hanem több csatlakozási ponton keresztül kapcsolódik az európai villamos energia rendszerhez. Az országon belüli és az országhatáron túlnyúló kapcsolatoknak köszönhetően javul a fogyasztói ellátásbiztonság a szigetüzemben működő rendszerekhez képest. Szigetüzemű rendszernek mondható egy hálózat, ha egy erőműhöz az erőmű maximális teljesítményénél nem nagyobb fogyasztói rendszer kapcsolódik. Ekkor a fogyasztói hálózat ellátás biztonsága alapvetően az erőmű és a hálózat üzembiztonságának függvénye. Ha szélső esetet tekintve az erőmű valamilyen oknál fogva leáll, akkor a szigetüzemi fogyasztók villamos energia ellátása szünetelni fog. Ha ez a megbízhatóság nem elégséges, akkor célszerű egy olyan hálózatot kialakítani, amely hálózat több betáplálással, azaz több erőművel rendelkezik. Az így kialakított hálózatban a fogyasztói igények maximális kielégítése céljából többféle erőműtípus kell, hogy legyen, mert a villamos energia rendszer sajátja, hogy a fogyasztott és a megtermelt villamos energia minden esetben egyensúlyban kell, hogy legyen. Ennek oka, hogy a villamos energia nagymértékben nem tárolható. A fogyasztói igények kielégítése folyamatos egyensúly figyelemmel és folyamatos szabályozással valósítható csak meg. Villamos energia rendszer egyensúlyát leginkább a hálózati frekvencia mutatja meg. Ha a frekvencia pontosan 50 Hz, akkor az azt jelenti, hogy a megtermelt és a fogyasztott villamos energia egymással egyenlő. Ha a hálózati frekvencia kisebb, mint 50 Hz, akkor a fogyasztás nagyobb a megtermeltnél és ebben az esetben növelni kell a termelést olyan mértékben, hogy a névleges 50 Hz hálózati frekvencia alakuljon ki. Ha a hálózati frekvencia nagyobb a névleges értéknél, akkor az erőművek többet teljesítenek, mint a fogyasztás, ebben az esetben csökkenteni kell az erőművek teljesítményét. A teljesítményváltoztatás nem minden erőműnél történik egyszerre, hanem szigorú menetrend alapján csak a kiválasztott erőművek teljesítménye változik.

Ennek a kényes egyensúlynak a fenntartásához folyamatos felügyelet és szükség esetén azonnali beavatkozás szükséges.

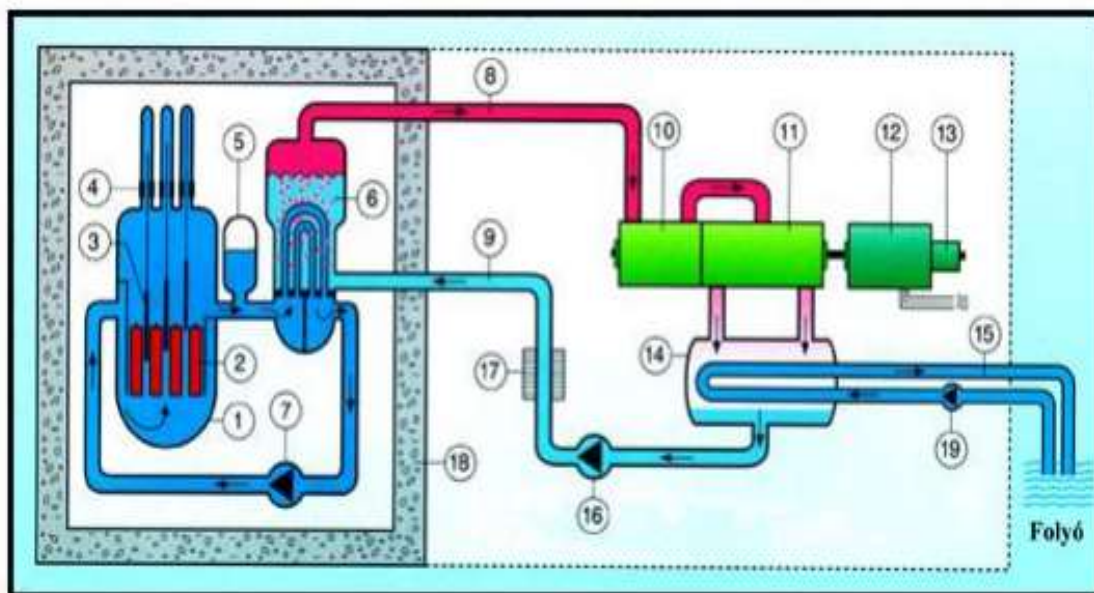
Az erőmű műszaki felépítése

A villamos erőművek energiát termelő berendezése az erőművi generátor, amely alapjaiban a gépjárművekben található generátorokhoz hasonló kialakítású, de teljesítményéből és méreteiből adódóan összetettebb és bonyolultabb berendezés. A generátorban keletkező villamos energia a generátor forgórészének mozgási energiájából keletkezik. A villamos energia kulcsa a megfelelő fordulatszámmal és teljesítménnyel forgatott generátortengely. A villamos erőművek energia előállítási folyamata, az erőmű fajtájától függetlenül ebben a

pontban közös, minden villamos erőmű alapja a generátor. A generátor forgó mozgásának előállításában különböznek az egyes erőművek. A generátor forgó mozgását gőzturbina, gázturbina, vízturbina, szélturbina, dízelmotor, gázmotor stb. gépegység biztosíthatja.

A legbonyolultabb erőművi folyamat egy gőzturbinát meghajtó atomerőmű. A továbbiakban egy atomerőmű felépítését és üzemeltetési kérdéseit vizsgáljuk meg.

Az (1) reaktortartályban lévő dúsított urán-dioxid (2) üzemanyagban zajlik a szabályozott és kézben tartott láncreakció. A láncreakció következtében felszabaduló energia hőként jelentkezik és ez a hő az üzemanyag mellett áramló hűtővizet felmelegíti. A felmelegedett hűtővíz magas, jellemzően 300 °C körüli hőmérsékletre melegszik, de a rendszerben lévő nagy nyomás (120-130 bar) hatására nem forr fel. A felmelegedett primerkörü hűtővíz a (6) gőzfejlesztőbe kerül, ahol hőátadó csöveken keresztül a hőenergiáját átadja a hőcserélő csövek másik oldalán lévő szekunder oldali víznek. A primerkörü víz a gőzfejlesztőn áthaladva lehül, és a (7) szivattyú segítségével visszakerül a reaktortartályba, ahol ismét felmelegszik.



- | | | |
|------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 reaktortartály | 8 frissgőz | 14 kondenzátor |
| 2 fűtőelemek | 9 tápvíz | 15 hűtővíz |
| 3 szabályozó rudak | 10 nagynyomású turbina | 16 tápszivattyú |
| 4 szabályozórúd hajtás | 11 kisnyomású turbina | 17 tápvíz előmelegítő |
| 5 nyomástartó edény | 12 generátor | 18 betonvédelem |
| 6 gőzfejlesztő | 13 gerjesztőgép | 19 hűtővíz szivattyú |
| 7 keringtető szivattyú | | |

1. ábra. Nyomottvizes atomerőmű elvi felépítése [9]

A gőzfejlesztő szekunder oldalán a nyomás nem olyan nagy (40-60 bar), mint a primer oldalon, ugyanis a gőzfejlesztő szekunder oldalán éppen az a cél, hogy a szekunder víz elforrjon és (8) gőz legyen belőle. A keletkezett gőz a gőzfejlesztőből továbbáramolva a (10-11) turbinába jut, ahol a gőz mozgási energiája forgási energiává alakul a gőzturbina lapátjai és tengelye segítségével s a turbina tengelye meghajtja a generátort. A gőz áramlását a turbinán keresztül a kondenzátor hozza létre a (14) kondenzátorban lévő vákuum miatt. A kondenzátorba beáramló, turbinában munkát végző gőz a kondenzátorban vízzé alakul miközben a kondenzációs hőjét átadja a kondenzátort hűtő közegnek, jelen esetben a folyóból kivett hűtővíznek. A hőátadás következtében a hűtővíz felmelegszik, a gőz kondenzálódik. A kondenzálódott gőzt, a kondenzvizet vagy tápvizet a (16) tápvíz szivattyú juttatja vissza a gőzfejlesztőbe a (17) előmelegítőn keresztül.

A primerkörben lévő primer vízkör és a szekunder körben lévő szekunder vízkör folyamatos mozgásban van s ezáltal biztosított, hogy a reaktorban folyamatosan keletkezett hőmennyiség egy része a generátoron keresztül villamos energiává alakuljon át, míg a másik része a kondenzátoron keresztül a folyóba távozik.

Egy atomerőműnek ez az alapvető folyamata, ez által biztosított a villamos energia előállítását. E folyamat a része a nukleáris láncreakció, amitől az atomerőmű egyedivé válik az összes többi erőműhöz képest.

A nukleáris folyamat természetéből adódóan különböző sugárzások kísérik az atomerőmű működését. A sugárzás hatásainak kiküszöbölésére és a potenciális nukleáris kockázat csökkentésére speciális berendezések, rendszerek, eljárások kerültek beépítésre, alkalmazásra. E specialitások biztosítják azt a megbízhatóságot és alacsony kockázatot, ami a közvélemény számára is elfogadható mértéket jelent.

Egy atomerőmű nukleáris biztonsága komplex folyamat eredménye. [10]

Ennek a folyamatnak a legelső eleme a megfelelő műszaki biztonság kialakítása. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az alkalmazott anyagok, berendezések, rendszerek az adott műszaki, tervezési, gyártási, kivitelezési szempontok, lehetőségek szerint a lehető legmagasabb minőséget képviseljék. Például a felhasznált anyagokat tekintve a reaktortartály anyaga és gyártástechnológiája a világszínvonalat képviselje, vagy például a biztonsági rendszerek száma és megbízhatósága feleljen meg a legújabb szabványoknak, előírásoknak. A műszaki biztonságúnak olyannak kell lennie, hogy a tervezett atomerőmű élettartam alatt a legsúlyosabb üzemzavar kockázata folyamatosan az előírt érték alatt maradjon.

A nukleáris biztonság növelésének következő lépése, amikor az atomerőművet üzemeltető szervezet létrehozza azokat a világos és egyértelmű eljárásrendeket és szabályzatokat, amelyek betartásával a legmagasabb fokú nukleáris biztonság érhető el.

És végül a harmadik lépés a nukleáris biztonság növelésének rögzös ösvényén, amikor az üzemeltető szervezet részére a legmagasabb értékű biztonság elérése egyéni és szervezeti értéké válik.

Az erőmű üzemviteli folyamata

A biztonsági kultúra nem más, mint egy elvárt biztonsági szint fenntartására és növelésére irányuló szervezeti működés, vezetői hozzáállás és egyéni viselkedés összessége. A biztonsági kultúra a meglévő műszaki biztonságot reprezentáló fizikai létesítményt üzemeltető szervezet sajátosságai [8].

Az üzemeltető szervezet feladata, hogy a rendelkezésre álló technológiát az előírásoknak megfelelően a lehető leghatékonyabban üzemeltesse. A magas szintű hatékonyság magában hordozza a magas szintű biztonsági kultúrát és magában hordozza azt a termelésbiztonságot, amely az adott külső és belső körülmények között maximális energiatermelést eredményez. Belső körülmény a technológia és a rendszerek, berendezések műszaki állapota és konstrukciója, a karbantartási és javítási módszerek fajtája és használatuk módja, a raktározás mikéntje, a beruházási, fejlesztési lehetőségek kiaknázása összességében az önköltség alakulása, míg külső körülmény a villamos energia rendszer pillanatnyi állapota és az önköltségi ár viszonya.

Az erőművet üzemeltető szervezet kialakítása többféle szempont szerint lehetséges. Az egyik féle felosztás a folyamatok szerinti csoportosítás. Folyamatnak tekinthetjük a karbantartást, az üzemvitelt, a műszaki háttértevékenységet, a gazdasági és a humán tevékenységeket.

A továbbiakban az üzemviteli folyamatot működését nézzük meg közelebbről.

Az üzemviteli folyamat az erőművi technológiai rendszerek szűken vett üzemeltetését jelenti a továbbiakban. Az üzemviteli folyamat fogalmába nem tartozik bele a fenntartás, amelynek

része a karbantartás és javítás, s nem tartozik bele az üzembe helyezés, üzembe állítás, de beletartozik a:

- gépek, berendezések, technológiai rendszerek normál üzemi ellenőrzése,
- szükséges terhelésváltoztatás végrehajtása,
- gépek, berendezések, technológiai rendszerek indítása, leállítása,
- időszakos működési, retesz és védelmi próbák végrehajtása,
- üzemzavar kezeléshez, elhárításhoz szükséges műveletek elvégzése,
- gépek, berendezések, technológiai rendszerek karbantartásra való előkészítése,
- gépek, berendezések, technológiai rendszerek karbantartás utáni üzembe vétele,
- gépek, berendezések, technológiai rendszerek karbantartás utáni próbáinak elvégzése.

TECHNOLÓGIAI RENDSZEREK NORMÁL ÜZEMI ELLENŐRZÉSE

A normál üzemi ellenőrzés során az üzemviteli személyzet távfelügyelettel és helyszíni bejárásokkal ellenőrzi a technológiai rendszereket.

A távfelügyeletbe kapcsolt ellenőrzött paraméterek a technológia azon értékeit mutatják, amelyek segítségével az irányító üzemviteli személyzet meg tudja ítélni az erőmű alapvető üzemeltetési állapotát. A távfelügyelet olyan központi helyről történik, ahol nemcsak a távfelügyelet lehetséges, hanem beavatkozási lehetőséget is biztosítanak a személyzet részére az erőmű terhelésváltoztatásához és a gyors üzemzavar elhárításokhoz. A távbeavatkozásokat villamos parancsokkal mozgatható szelepek, tolózárak, szabályzószkepek stb. biztosítják.

A távfelügyelet és távbeavatkozás mellett a helyszíni ellenőrzések fontossága is kiemelt jelentőségű, mivel a távfelügyeletbe nem lehet minden, a helyszínen tapasztalható műszaki paramétert és egyéb körülményt megjeleníteni. Sem műszakilag sem gazdaságilag nem indokolt a távfelügyeletbe minden a helyszínen tapasztalható körülményt megjeleníteni. Egyrészt a központi helyen lévő személyzet információ feldolgozó képessége véges, másrészt a helyszínen tapasztaltak megfogalmazása sokszor sem fizikailag, sem műszakilag nem fogalmazhatók meg egyértelműen. Például, egy szivattyúnál egy kezdődő csapágy meghibásodás enyhe rezgésnövekedéssel, hőmérsékletemelkedéssel és esetleg szaghatással is járhat, amelyeket mérhetővé és értékelhetővé tenni abban a korai fázisban szinte lehetetlen, míg egy gyakorlott ellenőrző személy a meg nem fogalmazható jelenségek alapján is korrekt döntést tud hozni és időben képes felfedezni a meghibásodásokat.

A helyszíni ellenőrzéseknek emiatt jelentős szerepük van, amellett, hogy a rendszerek feltöltése, üzembe helyezése, leürítése csak helyszíni jelenléttel lehetséges.

ÜZEMVITELI FOLYAMAT MINŐSÉGE, MEGBÍZHATÓSÁGA

Atomerőművek üzemeltetési és biztonsági mutatóit az Atomerőműveket Üzemeltetők Világszövetsége (WANO – The World Association of Nuclear Operators) szervezet foglalta össze egységes formába. A mutatók egyik része nem számít reaktor specifikusnak, így alkalmasak arra, hogy a többi atomerőművel összehasonlításra kerüljenek (ezek a WANO mutatók) és vannak a reaktor specifikus mutatók (ezek a BMR – biztonsági mutatók rendszere), amelyek kevésbé alkalmasak a nemzetközi összehasonlításra a reaktorok és az egyéb technológiák különbözősége miatt, de a belső tapasztalatok hasznosítására, az erőmű és a személyzet biztonsági teljesítményének mérésére és ezáltal az önértékelés elvégezhetőségére nagyon hasznos elemek lehetnek.

A teljesség igénye nélkül „A Paksi Atomerőmű 2009. évi biztonsági mutatói” [10] alapján a WANO mutatók közé tartozik a rendelkezésre állás, a nem tervezett termelés kiesések aránya, az automatikus reaktor vészleállások száma, az üzemanyag megbízhatósága stb., míg a BMR mutatók rendszere három fő csoportra van osztva: a normál üzemmenetre, az üzemeltetés

biztonságára és a biztonság iránti elkötelezettségre. 2012-ben 78 BMR mutató elemzését javasolta a WANO a tagerőművei részére.

A WANO és BMR mutatók a teljes erőműre egy jól átgondolt és bizonyos elemzésre alkalmas mutatórendszert fejlesztett ki.

E mutatók közül az egyik az üzemzavari dízelgenerátorok indítási megbízhatósága, amelyik az üzemeltetés biztonsága BMR csoportba tartozik. Az üzemzavari dízelgenerátorok feladata a reaktor lehűtéséhez és hűtött állapotban tartásához szükséges rendszerek villamos energiával történő ellátása üzemzavar esetén. Egy atomerőművi blokkhoz jellemzően 2-4 darab üzemzavari dízelgenerátor tartozik, melyek egyike is elegendő a reaktor lehűtéséhez és hűtve tartásához. A dízelgenerátorok melegen tartott, indítási kész állapotban vannak és indítójel keletkezése esetén meghatározott időn belül el kell indulniuk és a megfelelő teljesítményt le kell adniuk. Az indítási megbízhatóság ezt a folyamatot minősíti, ami nem más, mint a sikeres indítások aránya az összes indításhoz viszonyítva.

Az indítási megbízhatóság 100%-tól való eltérése jelzi, hogy volt sikertelen indulás, de további útmutatást nem ad, hogy kiderüljön, hogy mi is okozta a sikertelenséget. A dízelgenerátort üzemeltető személyzet részére további mutatók felállítása szükséges, amelyek folyamatos figyelésével elkerülhetővé válnak a sikertelen indulások. Ez a megállapítás nemcsak a dízelgenerátorokra igaz, hanem az összes többi technológia rendszerre is.

Az üzemviteli személyzet az ellenőrzési folyamatot előre kiadott és ellenőrzött dokumentumok alapján végzi. Az üzemviteli dokumentumok két csoportra oszthatóak az állandó és az ideiglenes dokumentumokra. Az állandó dokumentumok tartalmazzák a technológiai rendszerek alapvető üzemeltetési műveleteit és adatait. Ezek a dokumentumok lehetnek kezelési utasítások, üzemzavar elhárítási utasítások, tesztelési utasítások, sematikus csőkapcsolási rajzok, berendezés- és rendszer ellenőrzési listák, üzemellenőrzési útvonalak. Az ideiglenes dokumentumok a pillanatnyi berendezés vagy rendszer állapotok eltérését kezelik az állandó dokumentumokban leírt berendezés vagy rendszerállapotokhoz képest.

Az üzemviteli dokumentumok alapján történő üzemeltetés egyszerűnek tűnő tevékenységnek tűnik mindaddig, míg nem szembesülünk a leírt tevékenységek és ellenőrizendő adatok mennyiségével. A technológiai rendszerek bonyolultságának és biztonságra gyakorolt hatásának függvényében más és más elvárások vannak az üzemeltető személyzettel szemben. Minél bonyolultabb a technológia, annál jobban emelkedik az elvárás a magasabb szakmai tudás irányába. Az elvárások megfogalmazása azonban nem egyszerű, mert nem mindenhol adottak az ahhoz az adott munkakörhöz megfogalmazott ellenőrzési mutatók. Ellenőrzési mutatók hiányában csak általános elvárások megfogalmazása lehetséges, amelyek értelmezése személyenként változhat.

Objektív üzemviteli mutatórendszer kidolgozása azonban csak egy jól felépített üzemviteli modell alapján lehetséges, amely segítségével meg lehet mondani, hogy mit kell mérni és hogyan. ez nem jelent mást, mint az üzemviteli folyamat feltérképezését, leképezését matematikailag vagy logikailag kezelhető formára és ezután a megalkotott modell alapján a folyamat optimalizálását. Az optimalizálás azáltal lesz lehetséges, hogy amennyiben a modell jól fel van építve és kezelhető formájú, akkor választ a gyenge és erős pontokra, folyamatrészekre, a különböző külső vagy belső zavarások hatásának mértékére és a végeredmény érzékenységét e zavaró tényezőktől.

ÜZEMVITELI FOLYAMAT MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI

POKORÁDI szerint többféle modellezési mód lehetséges [2]. A szerző megkülönböztet anyagi és gondolati modelleket. A gondolati modellek fogalmi és jelképes, az anyagi modellek geometriai, fizikai és matematikai csoportokra oszthatók. A matematikai modellek a mérnöki gyakorlatban való elterjedésük miatt tovább vannak részletezve és csoportosítva, úgymint statikus és dinamikus modellek, lineáris vagy nem lineáris modellek, determinisztikus vagy sztochasztikus modellek, folytonos vagy diszkrét idejű modellek, folytonos vagy diszkrét paraméterű modellek.

A modellalkotás után a modell segítségével a modellezett valóság szimulációját kell elvégezni és a szimuláció eredményeinek birtokában kell a szükséges következtetéseket levonni. A modellezés során kiemelten kell ügyelni a modell korlátaira és a modell alkalmazhatóságára, mert ezek figyelmen kívül hagyásával az egész modellezés lényege és értelme vész el, ráadásul a rossz következtetések miatti eredménytelenség a modellezés megítélését is rossz irányba viheti.

Az optimális üzemviteli, üzemellenőrzési rendszer kialakítása során több üzemeltetési-, technikai-, és emberi megbízhatósági kérdéskört kell megvizsgálni, illetve szempontot figyelembe venni. Az üzemellenőrzési folyamatok megbízhatóságának optimalizálása úgynevezett kemény, illetve lágy matematikai modellek, döntés-előkészítési módszerek, eszközök alkalmazásával oldható meg.

POKORÁDI [10] tanulmányában mutatja be egy technikai rendszer megbízhatósági elemzését egy mintapéldán keresztül a hibafa (FTA-Fault Tree Analysis) módszer segítségével.

ZVIKLI rendszerek általános modellezésére két módszert javasol, a feketedoboz módszert és a modell módszert [3].

A feketedoboz módszer alkalmazása, akkor eredményes, ha a teljes rendszervizsgálathoz szükséges az alrendszer rendszerszintű működésének ismerete, de a vizsgált alrendszer vagy rendszer elem belső szerkezete nem ismert (mert nagyon bonyolult a belső felépítése vagy kevés az információ a belső működés teljes megértéséhez) vagy nem is érdekes, hogy ismert legyen a belső működés, mert a teljes vizsgálat szempontjából csak a rendszerszintű viselkedése, működése a fontos. A feketedoboz módszer vizsgálat lényege, hogy a fekete doboznak tekintett vizsgált objektumra, meghatározott szabályok szerinti bemenőjelek beadása után milyen válaszok, kimeneti jelek keletkeznek. A bemeneti jelek és kimeneti válaszok alapján már egyértelműen meg lehet határozni a vizsgált rendszer elem működési jellemzőit, anélkül, hogy ismert lenne annak pontos belső működése.

A modell módszer a feketedoboz módszerrel ellentétben feltételezi a vizsgált objektum belső működéseinek ismeretét. A modell módszerrel a vizsgált objektum, ami akár egy összetett, bonyolult rendszer is lehet, belső működésének, viselkedésének megértése és végeredményként a belső működés optimalizálása a cél. A modell a valóságot képi le olyan formában, amely megfelelő módszerekkel kezelhetővé teszi a hatékonyságvizsgálat elvégzését. Az elemzés ezáltal nem a bonyolult, valóságos rendszeren, hanem az egyszerűsített modellen végzendő el s ezáltal a modell bonyolultsága a kívánt cél függvényében alakítandó ki.

A modell kísérletek nem egyszerűen megfigyelésekről és elemzésekről szólnak, mint a feketedoboz módszernél, hanem aktív beavatkozásokról, azok elemzéséről. ZVIKLI [3] művében e két modellalkotási módszerhez mutat be modellalkotási és elemzési módszereket és eljárásokat.

GERRIT gyakorlati példán keresztül mutatja a modellépítés egyik lehetséges módját [4] művében. A példa az első lépésektől, a megoldandó feladat pontos definiálásának fontosságától kezdve mutatja be a rendszermodell kialakításának lépéseit. A bemutatott példa egy informatikai rendszer modellezését mutatja be nagyon egyszerűen és szemléletesen, rámutatva

a modellépítés konkrét lépésire, majd a megalkotott modell alapján a technikai és gazdasági kockázatok elemzésének lehetőségeire.

Vegyipari rendszerek modellezésekor a lehetséges modellezési módszereket röviden, lényegre törően mutatják be SZEIFERT-CHOVÁN-NAGY-ALMÁSY szerzők [5] művükben. A lehetséges modellezési módszerek között említik a bemeneti-kimeneti (fekete doboz módszer), állapotter, matematikai, sztochasztikus és fuzzy modellezési eljárásokat.

Gépészeti rendszerek modellezésével foglalkozik NAGY [6] művében. NAGY általánosságban bemutatja a jelenségek és folyamatok modellezésének lehetőségeit, majd a későbbiekben a gépészeti rendszerek matematikai modellezésével foglalkozik részletesebben. A műben bemutatásra kerülnek a jelenségek és folyamatok leírásának lehetőségei, a matematikai modell előállításának módszerei, a rendszervizsgálat lehetséges ábrázolási módjai, a rendszervizsgálathoz szükséges jelek fogalmi és szerepük a vizsgálatokban, a rendszer identifikáció szükségessége és módjai és végül a modell segítségével a szimulációs módszerek, lehetőségek.

A rendszerek és folyamatok megbízhatóság alapú megközelítése és modellezése található meg a Dr. KÖVESI – ERDEI - Dr. TÓTH által írt [7] irodalomban. A megbízhatóság alapú modellezés a minőséget helyezi középpontba és célja a minőség időbeli változásának modellezése, a minőségnek, mint a vizsgálati célnak a maximalizálása a költségek optimalizálása mellett. A műben a megbízhatóság elmélet alapfogalmainak bemutatása után az elemek és rendszerek megbízhatósága, majd a megbízhatóság elemzésére szolgáló módszerek kerülnek ismertetésre. A bemutatott módszerek között vannak a megbízhatósági blokkdiagramok, a megbízhatósági logikai diagramok, a Markov-módszer, az Ishikawa-diagram, Pareto-elemzés, a hibafa-elemzés (FTA) és a hibamód- és hatáselemzés (FMEA – Failure Mode and Effect Analysis) módszere.

Egy atomerőmű üzemviteli folyamatának elemzése fentiek alapján több módszerrel is lehetséges. A legjobb módszer megtalálásához célszerűnek látszik több módszer szerint az üzemviteli modellt felépíteni, identifikálni és a szimulációt elvégezni.

Jelen kutatás elején nem lehet egyértelműen eldönteni, hogy a kemény vagy a lágy matematikai módszerek, modellek adnak majd értékelhető megoldást vagy megoldásokat.

A modellezés segítségével az üzemviteli folyamatnak az alábbi fő kérdéseire keressük a válaszokat:

- Milyen minőségi és mennyiségi mérőszámok vannak egy erőművi üzemviteli, üzemellenőrzési folyamatnak?
- Mi az optimuma ezeknek a mérőszámoknak?
- Mi és milyen mértékben befolyásolja a modellezett folyamatokat, paramétereket?
- Hogyan függnek a termelési és a biztonsági vállalati célok az üzemviteli folyamattól?
- Milyen és mekkora mértékű kockázatai vannak az egyes mérőszámok optimalizálásához tartozó folyamatoknak?
- Az üzemviteli, üzemellenőrzési folyamatban az emberi tényező milyen mértékben van jelen?
- Hogyan lehet csökkenteni az emberi hibákból eredő kockázatnövekedést és az üzemzavarok számát?
- Hogyan építhetők be a modellbe a majdnem események és a tényleges események tapasztalatai?

Az egyes modellezési módszerek összevetése és a legjobbnak ítélt módszer kiválasztása a közeljövő feladata lesz. A kutatás során legelső lépésként az üzemellenőrzési, üzemeltetési folyamat nagyléptékű elemzése az ismertetett irodalmakban lévő módszerekkel történik majd, mint pl. Pareto elemzés, ABC módszer, FMEA módszer, hibafa elemzés, Fuzzy modellezés stb. A kemény és lágy módszerek eredményeinek elemzése és összevetése után célszerű lesz kiválasztani azokat a módszereket (mert valószínű, hogy nem egy módszer alkalmazásával lehet

elérni a legjobb végeredményt), amelyekkel mélyebb elemzést kell majd végezni. A kiválasztás után a kiválasztott módszerekkel az üzemeltetési, üzemellenőrzési folyamatok kockázatainak felmérése, minőségi és mennyiségi mutatók meghatározása következik.

Ehhez felhasználásra kerülnek majd az üzemeltetési, üzemellenőrzési adatok, diagramok, üzemeltetési dokumentumok (kezelési utasítások, ellenőrzési adatlapok, reteszpróba forgatókönyvek, üzembe-helyezési programok, tesztelési utasítások stb.), eseménykivizsgálási dokumentumok eredményei, átalakítási folyamatok értékelő dokumentumok eredményei, napi eseménynaplók adatai stb.

Az adatok kigyűjtése, szűrése után az üzemviteli folyamat modelljébe az adatokat be kell majd építeni, a modellt szükség szerint korrigálni kell. Ezután meg kell határozni az üzemviteli, üzemellenőrzési folyamatoknak a kritikus részeit, eljárásait és ezek hatását, érzékenységét a minősítő mutatókra.

Végezetül, amennyiben rendelkezésre áll az üzemviteli modell, a modell be- és kimeneti paraméterei és a minősítő mutatók abban az esetben megfogalmazhatóak azok az ajánlások, amelyek segítségével az üzemeltetési, üzemellenőrzési folyamat optimalizálása elvégezhető. Mindehhez természetesen hozzátartozik az is, hogy modellalkotás során a megalkotott modell korlátai, előnyei és hátrányai is pontosan lesznek megfogalmazva és értelmezve.

Az ajánlások megfogalmazása után, a megvalósítható ajánlások alapján, az üzemviteli folyamatot módosítani kell és megfelelő kivárási idő után újból el kell végezni az értékelést a korábban megalkotott modell alapján. Ez alapján értékelni kell a módosítások hasznosságát és meg kell határozni a továbblépések irányát és mértékét.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen írás egy atomerőmű üzemviteli, üzemellenőrzési folyamat optimalizálásának első lépéseit mutatta be. További irodalomkutatás és modellalkotás után olyan kérdésekre lehet válaszokat kapni, amelyek segítségével az üzemviteli, üzemellenőrzési folyamatokban részt vevő személyek a mindennapi munkájuk során gyorsan és egyértelműen el tudják dönteni a tevékenységük, munkájuk hasznosságát, biztonsági kockázatát, hatékonyságát.

Ennek hatására csökkenhet az üzemeltető személyzet bizonytalansága a mindennapi rutinműveletek és a stresszhelyzeteket kiváltó üzemzavarok kezelése során a tevékenységük helyességét illetően.

Az üzemviteli folyamat modellje az üzemviteli vezetők kezében is egy jó eszköz lehet az általuk felügyelt folyamatok átláthatósága és esetleges optimalizálhatósága, fejleszthetősége érdekében.

Felhasznált irodalom

- [1] *Bihari P., Balogh A.*: Erőművek, Budapest, 2002
- [2] *Pokorádi L.*: Rendszerek és folyamatok modellezése, Debrecen, Campus kiadó, 2008
- [3] *Zvikli S.*: Rendszerelemzés I., Győr, 2009
- [4] *Gerrit M.*: System Modeling and Analysis: Practical Approach, Konsberg Norway, 2013
- [5] *Szeifert F., Chován T., Nagy L., Almássy G.*: Rendszermodellek – rendszeranalízis, Veszprém, 1998
- [6] *Nagy V.*: Gépészeti rendszertechnika, kézirat, Győr, 2001
- [7] *Dr. Kövesi J.-Erdei- Dr.Tóth Zs.E.*: Gazdasági és megbízhatósági elemzések, Budapest, 2008

- [8] *IAEA: INSAG-15, Key Practical Issues in Strengthening Safety Culture*, Vienna, 2002
- [9] *A Paksi Atomerőmű felépítése, tájékoztató kiadvány*, Paks,
<http://www.atomeromu.hu/download/535/A%20nyomottvizes%20reaktorok.pdf>
- [10] *A Paksi Atomerőmű 2009. évi biztonsági mutatói*, Paks,
<http://www.atomeromu.hu/download/3879/Biztons%C3%A1gi%20C3%A9rt%C3%A9kel%C3%A9s%202009.pdf>
- [11] *Pokorádi L.: Mátrixalgebrai hibafa-érzékenységelemzés*, Miskolci Egyetem, *Multidiszciplináris tudományok*, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 103-110.