

11. fejezet

Miért szolgálja Paks II. a fenntarthatóságot és az éghajlatváltozás mérséklését?

Csurgai József¹

11.1. Bevezetés

Magukat „környezetvédő”-nek mondó és „zöld”, netán „szuperzöld” újságírók lelkesen támogatják a megújuló energiás befektetéseket, és örülnek az elért eredményeknek. Büszkén mondják, hogy hány új szél- és napenergia-egység épült ennyi és ennyi megawatt- (MW-) kapacitással, és természetesen egyből nekitámadnak az atomenergiának, rögtön összevetik a kiépült kapacitások árát a nukleáris kapacitások költségeivel. Csak halkán és suttozva kérdezem meg: nekünk, fogyasztóknak tényleg a kapacitás a fontos? A válasz nem, nekünk villamos energiára, köznyelven áramra, effektív villamos teljesítményre (érdekes, szintén megawattban mérik), villamos energiára, vagyis megawattóra (MWh-ra) van szükségünk, mert az működteti a háztartási gépeinket, és azzal világítunk a lakásban, a hivatalban, de az Audi- vagy Suzuki-gyár is villamos energia segítségével termel nem kevés magyar GDP-t.

Lefordítom: az energiatermelő kapacitás hangoztatása az a mézesmadzag, ami nagyon jól hangzik, mivel a laikus közvélemény előtt elfedi annak valódi fizikai tartalmát, valamint nem világít rá a fenntartási, leszerelési és hulladékkezelési problémákra és költségekre.

Azért abban megegyezhetünk, hogy az atomenergia és a megújuló energiaforrások feltétlenül szükségesek a globális klímavédelmi célkitűzések elérése érdekében. Így a szakemberek is egyetértenek abban a nagyon fontos technikai és gazdasági kérdésben, hogy e két energiatermelési mód továbbra is fontos szerepet fog játszani a villamosenergia-termelésben, és jelentősen hozzá fog járulni az európai gazdaság egészségesebbé tételéhez. De ezzel szemben a megújuló energiaforrások támogatóinak döntő része csak egy atommentes világot tud elképzelni a jövőben. Ennek néhány okát könnyen fel tudjuk sorolni:

- A közvélemény könnyű befolyásolhatósága. Az atomenergia békés alkalmazásának szinte összes aspektusa, kezdve a technológia alapjaitól, a nukleáris fűtőanyagciklus zártságától a nukleáris biztonságra vonatkozó rendkívül szigorú követelményekig olyan rálátást igényel, amelyet nagyon nehéz egyszerűen, olvasmányos és egyúttal korrekt módon megfogalmazni. A szél- és napenergia hasznosítása ellenben látványos, az emberek gondolkodásában a környezet védelmével összefüggő képet alkot, és mivel elhallgatják ezek csekély termelékenységét, a létesítés és fenntartás nagy

¹ ORCID: 0000-0003-4770-7997, jcsurgai@gmail.com

fajlagos bekerülési költségeit, valamint napszak és időjárásfüggését, az atomenergia ebben a „kommunikációs” versenyben jelentős hátránnyal indul.

- Politikai érdekeltség. Némely politikai vezetők úgy tíz évvel ezelőtt támogatták hazánk energiapolitikájának lényeges elemeit, közöttük a paksi bővítést, azóta viszont a politikai célkitűzéseik között minden az atomenergiára vonatkozó kezdeményezés tagadása szerepel. Szembetűnő, hogy a nyilatkozataikban mekkora súlyt helyeznek az érzelmi aspektusra, érveléseikben gondosan kerülik a számszerűsített adatok és egyértelműen bizonyítható, netán cáfolható tények közlését, céljuk láthatóan a tömegek befolyásolása és saját politikai tőke kovácsolása.
- Esetlegesen idegen érdekek képviselője? A paksi tenderben való részvétel, főleg a szekunder körüli beszállítás úgy hatvan évre egy eléggé stabil üzlet, mivel például a turbinalapátokat rendszeresen cserélni kell, és még egyéb javítási és karbantartási munkákban a gyártók részére mindig van tervezhető munka és profitlehetőség. Ha valaki ebből kimarad, esetleg sérelmezheti ezt, és korrupcióval gyanúsíthatja a körben maradtakat.
- A megújuló energiaforrások fejlesztői, gyártói, beszállítói és egyéb üzleti köreinek egyéni érdekei. Ők nagyon is tisztában vannak „gyermekük” betegségeivel és gyenge oldalával, tisztában vannak az atomenergia fontosságával, de üzleti vagy más egyéni érdekeik miatt ellenzik. Nagyon jól tudják, hogy a villamosenergia-termelés alapját az olcsó atomenergia képezi, és nagyon megsértődnének, sőt kétségbeesnének, ha a saját energiaforrásukkal kellene kiváltani az atomenergiát.

A továbbiakban tekintsük át a megújuló forrásokat, vizsgáljuk meg a paksi bővítésre vonatkozó fontosabb ismereteket!

11.2. Néhány szó a „megújuló” energiaforrások hasznosításáról

Amíg Magyarország fenntarthatósági indikátorrendszere a környezeti elemeket tekintve többek között a vizeket illetően a vízhasználat intenzitását és a nagyobb folyók biológiai vízigényét, valamint a szennyvízkezelést értékelő indikátorokat tartalmazza, az energia-termelés és felhasználás területén lényeges fenntarthatósági indikátor az energiainport-függőség. (BEREK 2016)

2015-ben a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság (MAVIR) adatai alapján történelmi rekordot döntött a hazai fogyasztásban a villamosenergia-import, valamint a Paksi Atomerőmű termelésének a részaránya is. Éves szinten a villamosenergia-fogyasztás 43,75 TWh értékéből a hazai termelés 30,06 TWh-t (ebből a paksi termelés 15,83 TWh-t, ami a hazai termelés 52,7%-a), az import-villamosenergia pedig 13,69 TWh-t képviselt. Mindez pedig azt jelenti, hogy a bruttó villamosenergia-fogyasztás 31,29%-a importból, 36,2%-a pedig nukleáris energiából származott. Fontos azt is kiemelni, hogy a bruttó villamosenergia-fogyasztás közel 2,7%-kal növekedett az előző, 2014. évi értékhez képest. (MAVIR 2015)

A hazai megújuló energiaforrások pedig összességében 2,44 TWh villamos energiát termeltek, amely a bruttó villamosenergia-fogyasztás 43,75 TWh értékéhez viszonyítva 5,58%-os részarányt képvisel. Az egyes megújulók termelését megvizsgálva megállapítható,

hogy 54%-os aránnyal a legtöbbet még mindig a biomassza biztosította. A szélenergia 27%-ot, a napenergia pedig csak 0,4%-ot biztosított a megújulók által megtermelt 2,44 TWh villamos energiából.

2016-ban a hazai áramtermelők összesen 71,1%-át termelték meg az ország villamosenergia-felhasználásának, ami 31,309 TWh értéket jelent az éves fogyasztás 44,035 TWh mennyiségéből. Ebből Paks 15,967 TWh-t, vagyis a termelés 51%-át biztosította, a teljes fogyasztás 36,3%-át.

A MAVIR adatai szerint a 2016-os évben a teljes bruttó villamosenergia-felhasználás 7,1%-a származott hazai megújuló forrásból, ami jelentős növekedést jelentett a 2015-ös évhez viszonyítva. Megoszlása a következőképp alakult: biogáz: 0,47% (6,6%), biomassza: 3,51% (49,6%), hulladék: 0,89% (12,6%), nap: 0,13% (1,8%), víz: 0,57% (8,1%), szél: 1,51% (21,3%). A zárójelbe tett értékek az adott forrásnak az összes megújulóhoz viszonyított részarányát jelölik. A szél erőművek éves átlagos kihasználtsága 23,1%, míg a fotoelektromosoké 13,9% volt.

Mivel az atomenergiát ellenzők általában Németországgal példálózhatnak (mellesleg a német egy főre eső GDP négyszerese a magyarnak) – ahol évi 23 milliárd euróval támogatják a zöldáramtermelést –, tekintsük meg, hogyan alakul a különféle áramtermelési technológiákkal megtermelt villamos energia költsége a híres német kutatóintézet, a Fraunhofer Institut 2013. évi adatai alapján, középértéken. (FRAUNHOFER 2015)

A fosszilis energiák közül legolcsóbb a barnaszénbázisú áramtermelés (46 euró/MWh), ezt követi a kőszén (71 euró/MWh) és a földgáz (86 euró/MWh). A megújulók közül a szárazföldi szél 76 euró/MWh, a tengeri szél 157 euró/MWh, a biomassza 175 euró/MWh, a kis szoláris fotovoltaiikus 120 euró/MWh, a nagy fotovoltaiikus 98 euró/MWh. A Paksi Atomerőmű 42 euró/MWh költséggel termel, míg a tervezett Paks II. a számítások szerint 53 euró/MWh-val fog termelni. Láthatjuk a német adatok között, hogy a legolcsóbb a szén- és az atombázison termelt áram, míg a szél és a nap termelte áram kétszer-háromszor magasabb költségű, és a biomassza akár négyszer drágább is lehet. Tapasztalat, hogy a már amortizálódott atomerőművek rendkívül olcsón termelnek. Ennek a magyarázata az, hogy a létesítéssel járó költségeket már visszafizették, és csak a fenntartás, az üzemeltetés, valamint a nukleáris alapba történő befizetés jelenti a kiadásokat. Ez az atomerőművek „aranykora”.

Még szélsőségesebb lesz a helyzet, ha az áramtermelő technológiák életciklusra vetített költségeit vetjük össze. Az OECD Nemzetközi Energiaügynökség (International Energy Agency – IEA) *WEO–2014* című tanulmánya szerint életciklusra vetítve, az összes költséget figyelembe véve, a nukleáris eredetű áram a legolcsóbb, a nem vízerőművi megújulók (szél, nap, geotermikus, biomassza) a legdrágábbak. További negatív tényező a nem víz megújulók versenyképességében ezeknek a technológiáknak relatíve rövid, 20 év körüli élettartama. Ezzel szemben áll az új atomerőművek 60 éves élettartama. Az atomerőmű működési ideje alatt tehát háromszor meg kell ismételní a megújulás beruházást, ami jelentős költségnövekedést okoz. (IEA 2014)

A *WEO–2014* tanulmány szerint a nem vízerőművi megújulók életciklusra vetítve 200, az atomerőmű 50 USD/MWh költséggel termel, azaz az atom négyszer olcsóbb, míg a gáz-, szén- és vízenergia-bázisú termelés költsége 150 és 80 USD/MWh között van. Jelenleg 58 blokk van létesítés alatt, ebből 47 az építés különböző fázisában, míg a fennmaradó 11 blokk az engedélyezés és a létesítményi, valamint a felvonulási terület előkészítése alatt.

Vagyis hiába fúj ingyen a szél, süt ingyen a nap, a szél- és a napenergia nem olcsó technológia. Különösen most, a nagyon olcsó fosszilis energiák idején nagyon távol áll attól, hogy versenyképes legyen. A Mátrai Erőmű is csak azért termel napenergiás áramot, mert azt messze a piaci szint feletti, államilag támogatott áron veszik át. Ezért írja a WEO-tanulmány, hogy még 2040-ben is horribilis, 200 milliárd euró fölötti támogatást fog igényelni a megújuló bázisú áramtermelés. Még nagyon hosszú ideig együtt kell élnie a fosszilis és az atomenergiának a megújuló energiákkal. A megújulóakra fordított támogatások nagyobb részét célszerű lenne energiahatékonyságra fordítani, mert annak sokkal nagyobb lenne az éghajlatváltozást csökkentő hatása. Igaz, az éghajlatváltozás mostanra már bizonyított tény, (PADÁNYI–FÖLDI 2016) de még így sem lesz annyi napsütéses óránk, mint Tunéziának, és – magunk között szólva – szerencsére úgy sem fog fújni a szél, mint Dániában, az Északi-tenger partján. Tehát valószínűleg a zöldenergia Magyarország számára nem lesz kiút az energiaéhségből.

Persze szót kell ejteni a vízenergiáról is, ha már a „megújuló” forrásokról beszélünk. Magyarország sajátságos helyzetben van ezzel kapcsolatban is. A Duna esése Városszabadi (vízszint: 112 m) és Hóduna (vízszint: 82 m) között 30 m, a Tisza esése Tiszabezdéd (vízszint: 100 m) és Szeged (vízszint: 76 m) között 24 m. Vagyis egy egész országon keresztül folyás csak olyan relatív szintkülönbséget eredményez, amire az osztrákok nem is építenek völgyzáró gátat, vízerőművel, az Alpokban. Valójában ez meg is látszik a vízerőműveink nagyon kis energiatermelő részarányában. Talán inkább az országos ivóvízkészleteinkre kellene vigyáznunk, mert bár jelenleg látszólag bőséges a vízkészletünk, valójában azért van miért aggódnunk. (PADÁNYI 2015) A fenti tények ismeretében az ipari volumenű villamosenergia-termelés szempontjából a vízenergia mint alternatíva számunkra teljes mértékben hiányzik. Ezt tényként kell elfogadnunk akkor is, ha a meglévő csekély vízenergia-kapacitásunkat lokális jelentősége miatt továbbra is fenn kell tartanunk, sőt műszaki hátterét folyamatosan fejlesztenünk kell.

11.3. Az atomerőművek és generációik

A láncreakció során felszabadult energiát az atomerőművekben hasznosítják, amelyek villamosenergia-termelés céljából épült hőerőműként funkcionálnak. Az első teljesítményreaktor indítása óta hatalmas változáson ment keresztül a nukleáris ipar, és ez csak folytatódik. A legfrissebb információk szerint a világban 448 energetikai atomerőmű működik 31 ország területén, és további 58 blokk épül. (IAEA 2013, 2014)

Az atomerőmű-típusok modernizációját négy szakaszra, azaz generációra bontva lehet ismertetni. A generációk átmeneteket képeznek a biztonságvédelmi intézkedések és a gazdaságossági tényezők szempontjából.

Az első generációs erőművek kis teljesítményű prototípus-reaktorok segítségével kezdtek el működni az 1950-es és 60-as években, és békés céllal épültek. Ezek jó része már leszerelt vagy üzemeltetésének utolsó éveiben jár.

A második generáció alkotja a ma üzemelő erőművek uralkodó hányadát, köztük szerepelnek a jelenlegi paksi reaktorblokkok is. Magasabb szintű biztonságtechnikai eszközök beépítésével, mint a reaktortartály köré emelt védőépület (konténment), sikerült biztosítani, hogy ne, vagy legalábbis minimális mennyiségű radioaktív anyag kerülhessen

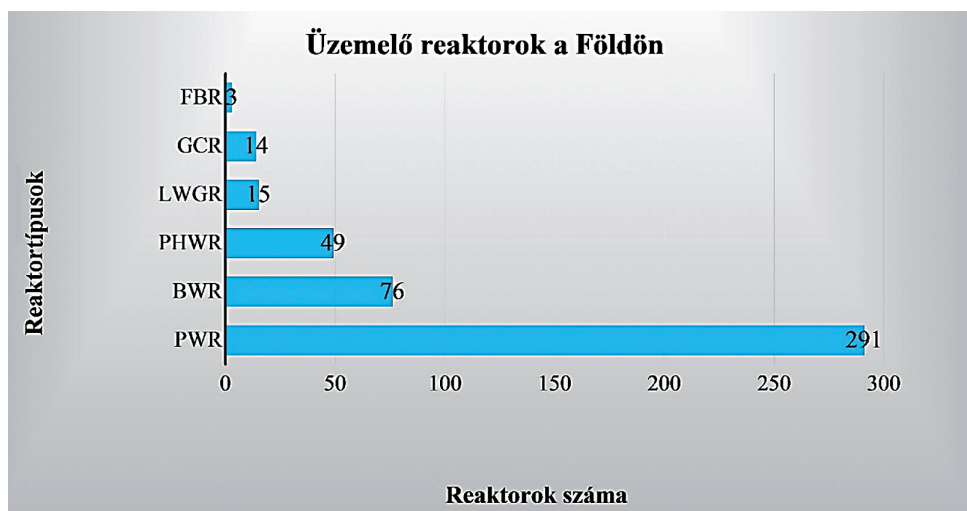
a levegőbe egy súlyos reaktorbaleset esetén. (KIRÁLY–RADNÓTI 2016a) Az üzemidejük 30 év, ami a Paksi Atomerőmű esetében már lejárt, de az üzemidő-hosszabbítási projekt (ÜHP) sikerének hála, még 20 évig biztosítja az ország villamosenergia-termelésének döntő hányadát. (*Üzemidő Hosszabbítási Projekt...* 2013)

A csernobili, illetve a Three Mile Island-i reaktorbaleseteket követően további biztonságnövelő átalakításokat végeztek a kutatók. Ennek következtében alakították ki a fejlett atomerőműveket, amelyek már a harmadik generációba tartoznak. Alapvető tulajdonságaikban hasonlítanak az előző generációkhoz, azonban az üzemidejük duplájára nőtt az előző generációéhoz képest, az azonos teljesítményű blokkok létesítményi területe viszont felére-harmadára csökkent. További jelentős változás a széles körű automatizálás, passzív védelmi rendszerek alkalmazása az inherens biztonság növelése érdekében. Ilyen típusok építési munkálatai folynak Finnországban, Iránban, Oroszországban, Törökországban, Franciaországban, Indiában és Kínában, továbbá a tervezett paksi blokkok is idetartoznak. (KIRÁLY–RADNÓTI 2016a)

A ma is fejlesztés alatt álló reaktortípusok a negyedik generáció tagjai. Az újonnan tervezett, illetve megépített létesítmények tapasztalataiból jutnak friss információkhoz a fejlesztők, s ezek felhasználásával igyekeznek a jövő nukleáris energiatermelését továbbfejleszteni. Ilyenek például a termikus reaktorok csoportjából a forralóvízes (Boiling Water Reactor – BWR) és a nyomottvízes (Pressurized Water Reactor – PWR) reaktorok. De ezeken kívül még új típusú üzemanyagciklussal rendelkező reaktorok kifejlesztését is kezdeményezte a Generation-IV International Forum (GIF). Annak érdekében, hogy ezt megvalósítsák, a szakértők a szuperkritikus víz reaktor (Supercritical Water Reactor – SCWR) kutatásai során a következőkre lettek figyelmesek: jobb átalakítási hatások érhető el vele és a radioaktív hulladékok újrahásznosítását, tenyésztését teszi lehetővé. A villamos energia előállítás mellett még további cél a melléktermékként keletkező hidrogén hasznosítása is, ami az igen magas hőmérsékletű reaktorban (Very High Temperature reactor – VHTR) 1000 °C-on valósulna meg. (KIRÁLY–RADNÓTI 2016a)

Léteznek olyan fejlesztés alatt álló reaktorok, amelyek aktív zónájában nem alkalmaznak moderátort, azaz a láncreakciót éltető neutron lassító közeget, ezek a gyorsreaktorok. Ezekben több gyorsneutron keletkezik, mint a termikus reaktortípusokban. E nagy sebességű részecskék feladata nemcsak a 235-ös uránmag hasítása, hanem a 238U atomban történő abszorpció általi plutónium képződése. A funkciók ellátására a nátrium, ólom és hélium hűtőközeget találták megfelelőnek, amelyek nem lassítják a gyors neutronrészecskéket, mégis magas hőátvitelt biztosítanak. Így ezek alapján a gyorsreaktorok közül a nátriumhűtésű (Sodium-cooled fast reactor – SFR), az ólomhűtésű (Lead-cooled Fast Reactor – LFR), valamint a gázhűtésű reaktorok (Gas-cooled Fast Reactor – GFR) szerepelnek ebben a generációban. Eme típusok biztonságára vonatkozó elemzések akkor végezhetőek el, ha a konstrukciójuk véglegesen elkészült. (KIRÁLY–RADNÓTI 2016b)

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ; International Atomic Energy Agency – IAEA) adatai szerint a legelterjedtebb reaktortípus a Földön a nyomottvízes reaktor. (IAEA 2014) Ezek közé tartozik a jelenleg működő négy paksi reaktorblokk is. A reaktorok számát és az üzemelő reaktorok típusát egy alábbi összesítő diagramon láthatjuk:



11.1. ábra

Az üzemelő reaktortípusok száma

Forrás: a szerző szerkesztése az IAEA 2014 alapján

A PWR-reaktor orosz megfelelője „vodo-vodjanoj energeticeszkij reaktor” (VVER), ezt lefordítva víz-vizes (víz hűtőközegű + víz moderátorú) energetikai reaktort jelent, s innen ered a VVER-rövidítés. A 80-as évek közepén működésbe helyezett Paks Atomerőmű technológiai hasonlósága miatt nem kellett sokat gondolkozni a tervezett blokkok típusának kiválasztásán.

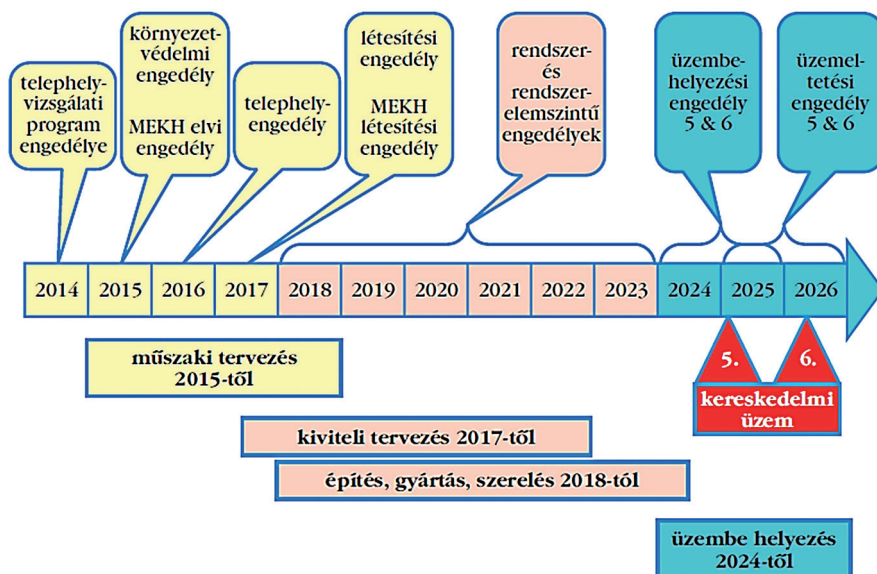
11.4. Röviden a tervezett reaktortípusról

11.4.1. A reaktorok általános leírása

Hazánk legnagyobb kapacitású villamosenergia-termelő erőművét a jelenlegi tervek szerint a 2030-as évek végéig leállítják. A hiányzó energia előállítását a 2011-ben elfogadott, majd 2015-ben frissített *Nemzeti Energiastratégia* ütemterve szerint valósul meg. (ASZÓDI 2015)

Az új blokkoknak kijelölt terület közvetlenül az üzemelő paksi erőmű mellett foglal majd helyet. A 106 hektáros területbe beletartozik a jelenlegi üzem területe, illetve a felvonulási zóna. (ROMENDA et al. 2012)

A két, összesen bruttó 2400 MW villamos teljesítményű, orosz tervezésű VVER-1200/V491 reaktor üzemideje minimum 60 évre garantált. Az előkészítés szakasza 5–6 évet vett igénybe, a kivitelezési munkálatok 2019-ben kezdődtek el, amiknek a befejezéséhez 60 hónapra lesz szükség. A környezetvédelmi, a telephely, illetve a létesítési engedélyek megszerzése 2015 óta folyamatban van. Az ütemterv pontos menete a következő ábrán látható. (ROMENDA et al. 2012)



11.2. ábra

Az új blokkok létesítésének ütemterve

Forrás: ASZÓDI–BOROS 2015

11.4.2. A VVER-1200/V491 reaktortípus rövid bemutatása

A VVER-440-es teljesítményreaktor továbbfejlesztett változata a VVER-1000-es, majd a szigorodó nemzetközi elvárásoknak való megfelelés miatt alakították ki a VVER-1200-es reaktortípust. A PWR-technológia alapfelépítése már ismert, itt csak azok a paraméterek és tulajdonságok vannak felsorolva, amiben különbséget mutat a Pakson üzemelőkétől. A négyhurkos felépítésű primer körben 162 bar nyomáson kering a hűtővíz, ami 298,2 °C-ról 328,9 °C-ra melegszik fel. A szekunder körben a nyomás 68 bar. (ASZÓDI–BOROS 2015) A nagyobb nyomás biztosítása magasabb hőmérsékletű folyadék megtartását eredményezi a reaktorban, ezzel a jobb hatásfok elérését lehetővé téve.

Az új típus aktív zónája 163 üzemanyag-kazettát, egy kazetta pedig 312 darab fűtőelemet tartalmaz. Ezek mellett még helyet kap 18 db szabályozórúd. Az UO_2 üzemanyag maximális dúsítása 4,79%, ami azért fontos, mert így további teljesítmény- és kampányhossz-növelés hozható létre. Már a 18 hónapos üzemanyagciklus is megvalósítható, de ezek a fűtőelemek még tesztelési fázisban vannak.

Itt is, mint a jelenlegi blokkoknál, gadolíniumtartalmú üzemanyag-tablettát alkalmaznak. A gadolínium izotóp formájában fordul elő a tablettában, ami lényegében képes a reaktorindításkor keletkező reaktivástartalék lekötésére. A további újítás a fűtőelemek burkolatát érinti. A rendkívüli korrózióállóság érdekében 1% nióbiumot tartalmazó cir-

kóniumötvözetet alkalmaznak. Ezenkívül a kazetták szétszerelhetőségét biztosító berendezések beépítésére is sor kerül, ami azért fontos, mert így azok a fűtőelemek, amelyek kiégnek, könnyen eltávolíthatók lesznek. Természetesen az atomreaktorok fejlődésével lépést tartanak más kulcsfontosságú komponensek is, mint a fűtőelemek fejlesztése. Az új erőmű üzembe helyezésekor ezeknek a fűtőelemeknek a 18 hónapos kampányt kibíró változata fogja a villamos energiát termelni.

11.5. A két reaktortípus biztonságtechnikai rendszerének összehasonlítása

11.5.1. Mélységi védelem

A jelenleg működő atomerőművek többszörös védelmi rendszerrel rendelkeznek azért, hogy a felhalmozódott hibák ne okozzanak súlyos baleseteket. A többszörös beavatkozási lehetőségeket az alábbiakban felsorolt alapvető nukleáris biztonságvédelmi feltételek megtartása érdekében hozták létre:

- a nukleáris láncreakció megfelelő szabályozása, veszély esetén gyors leállítása;
- a reaktortartály folyamatos hűtésének biztosítása, a maradványhő elvezetése;
- súlyos baleset esetén a radioaktívanyag-kibocsátás határérték alatt tartása.

Ezen pontok megfelelésére az atomerőművek nukleáris biztonságát képező mélységében tagolt védelem öt mérnöki gátjának kialakításával valósították meg a biztonságos működést, amelyek a reaktorból kifelé haladva a következők:

- az üzemanyag-tabletta;
- az üzemanyag burkolata (fűtőelem);
- fűtőelemköteg (kazetta);
- a primer kör;
- a konténment belső és küldő fala.

Az első védelmi gát megfékezi a gáz halmazállapotú hasadási termékek nagy részének a kijutását az üzemanyagmátrixból. Erre csak a masszív kerámiából készült tabletták képesek. De még így is a hasadási gázok (I, Xe, Kr) 1-2%-a kidiffundálhat a tablettákból, ennek megfelelően kellett egy újabb mérnöki gátat kialakítani. Az üzemanyagpálcák védőtokba helyezésével, majd hermetikus lezárásával sikerült a fennmaradó diffundáló termékek fel fogása. Üzemzavarok esetén ezen kétszintű védelem fenntartása a legfontosabb.

A következő gát magát a reaktortartályt és a hozzá kapcsolódó hűtőkört, összefoglalva a primer kört jelenti. Az ide beszerelt rozsdamentes acélból készült berendezések, csővezetékek túlnyomás és magas hőmérséklet elviselésére vannak tervezve. Ha innen csőtörés útján radioaktív anyag szivárgása történik, nem kap a személyzet és a lakosság többletsugárterhelést, mivel a teljes hűtőkörhálózatot egy vasbeton szerkezettel fedik le. Ez a magas hőmérsékletre és nyomásra méretezett betonfal a konténment, amely már a 4. és az 5. gátat foglalja magába. A radioaktív anyag kibocsátásának megakadályozását a belső szénacél burkolatú fal biztosítja, amely a negyedik gátat jelenti, az ötödiket pedig a konténment

külső vasbetonból készült szerkezete, amely a környezeti katasztrófák ellen is védelmi feladatot lát el.

Ezek a gátak a lehetőségekhez mérten nincsenek összefüggésben, ezáltal nem adódik az egyik meghibásodása az előtte vagy utána következő gátéból. Minél több az akadály és a védelmi mechanizmus, annál kisebb a valószínűsége a baleseteknek vagy a meghibásodásoknak. Az újabb, már a tervezésbe beágyazott biztonságvédelmi rendszerekkel még az apróbb szerencsétlenségek is elkerülhetők.

11.5.2. A Paksi Atomerőmű célzott biztonsági felülvizsgálata

Az 2011. március 11-én történt földrengés, majd az azt követő szökőár következtében a Fukushima I. atomerőmű 1–4. reaktorai zónaolvadást szenvedtek, véglegesen leállították őket, és számottevő radioaktív sugárzás került a légkörbe. Ez a baleset az egész világot le-sújtotta, sőt az atomerőművek biztonságába vetett hitet is megtörte. Így az európai intézkedéseknek megfelelően az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) előírta a Paksi Atomerőmű Zrt. részére a célzott biztonsági felülvizsgálat (CBF) végrehajtását. A felülvizsgálat alapján megállapítható, hogy a Paksi Atomerőműben működő baleset-elhárítási szervezet alkalmas a tervezési alapon szereplő balesetek kezelésére. Azonban azt is igazolta, hogy a tervezési alapon túli veszélyhelyzetek elhárítására kiegészítő intézkedésekre van szükség, amelyek a következő év folyamán fogatosítva lettek. (EILER et al. 2011)

11.5.3. A működő blokkok nukleáris biztonsági rendszere

Az aktuális rendszer tartalmazza a normálállapot stabilitásáért és az üzemzavar esetére használt biztonságért felelős berendezéseket, az alábbiakban ezen berendezések, valamint a működési elvük látható.

A szigorú biztonsági követelményeknek való megfelelés végett két különböző típusú biztonsági rendszert építettek be a technológiába:

- aktív rendszert;
- passzív rendszert.

Normálüzem működése mellett nem szükségesek, csak készenlétben állnak, hogy az adott helyzet esetén beavatkozzanak. Az aktív elvű biztonsági rendszerek elektromos árammal működő rendszerek, míg a passzív rendszerek funkciójának betöltését fizikai folyamatok teljesítik.

Az aktív rendszerek zöme közegek áramoltatását végzi, ezért csőhálózatból, hőcserélőkből, tartályokból, szivattyúkból és kompresszorokból épülnek fel. A nagy megbízhatóság érdekében az aktív rendszer háromszoros redundanciával épült ki a jelenlegi blokkokban. Így karbantartás közben is üzemelhet az erőmű teljes kapacitáson.

Az erőmű alapvető biztonsági rendszerei a zónaüzemzavari hűtőrendszerek (ZÜHR). Ezek a rendszerek biztosítják, hogy az aktív zóna ne sérüljön meg egy esetleges hűtőközeg-vesztéssel járó üzemzavar esetén.

A fővízkör csövének törésekor először a nagy nyomású aktív rendszerek lépnek működésbe, amelyek a 40 g/dm^3 koncentrációjú bóros víz beadagolását végzik a reaktorba. A kis nyomású aktív elven működő rendszerek csak akkor lépnek életbe, ha a hűtőközegvesztés hatására a nyomás lecsökken. Ilyen esetben a szivattyúk $7,2 \text{ bar}$ nyomással juttatják a reaktortartályba a szükséges mennyiségű $13,5 \text{ g/dm}^3$ koncentrációjú bórsavoldatot. Arra az esetre, ha az összes ZÜHR-tartály kiürülne, a nagy és kis nyomású rendszer automatikusan átvált recirkulációs üzemmódba, ami azt jelenti, hogy a kiszivárgott közeget a konténment padlójába épített zsompokon keresztül visszakeringetik a hűtőrendszerekbe.

Itt a passzív rendszer négy különálló csővezetékre csatlakoztatott, bórsavoldatot tartalmazó hidroakkumulátorból épül fel. Feladatuk, hogy az aktív zóna hűtővízellátását biztosítsák addig, amíg a ZÜHR aktív rendszerek működésbe lépnek.

A reaktorból történő hőelvonást, illetve a pihentető medencék hűtését szolgáltató rendszerek legfőképpen a maradványhő eltávolítását szolgálják:

- a biztonsági hűtővízrendszer;
- a sótalánvíz-rendszer;
- az üzemzavari tápvízrendszer;
- a kiegészítő üzemzavari tápvízrendszer;
- és a pihentető medence hűtővízrendszer.

A biztonsági hűtővízrendszer látja el a dízelgenerátorok, kondenzátorok és szivattyúk lehűtő rendszerét elegendő hűtővízzel, amit a Duna vizének mechanikus tisztításával együtt biztosít. Az aktív zóna üzemzavari hűtőrendszerben is számos berendezéshez eljuttatja a hűtővizet, mint a zsomphűtőkhoz, szivattyúmotorokhoz, közbenső hűtőkörhöz. Annak érdekében, hogy minden esetben eljusson a megfelelő helyre a hűtővíz, háromszoros redundanciát építettek ki a rendszerben.

A sótalánvíz-rendszer ikerblokkonként három földregézt kibíró tartályt foglal magába, amelyekben minimum 500 m^3 sótalánvíz-mennyiséget kell biztosítani. Ha egy földregész során megszűnik az üzemi hálózat villamosenergia-ellátása, akkor ez a rendszer tudja a szekunder oldali hűtést végrehajtani. A rendszer egyszeres meghibásodás ellen védett, ami azt jelenti, hogy képes ellátni feladatát, ha egyik ága megrongálódik.

Az üzemzavari tápvízrendszer biztosítja a gőzfejlesztők vízellátását arra az esetre, ha a blokk leáll vagy újraindul. A maradványhő eltávolítására blokkonként két táptartályt építettek, s innen két szivattyú szállítja a szükséges mennyiségű vizet a gőzfejlesztőbe. Ez a rendszer is földregészálló.

A kiegészítő üzemzavari tápvízrendszer az üzemi, valamint az üzemzavari tápvízrendszer meghibásodásakor látja el a gőzfejlesztőket hűtővízzel a sótalánvíz-tartályokból. A normálüzemi tápvízrendszerétől független betápláló útvonalon segít a maradványhő eltávolításában. Földregészálló a sótalánvíz-tartályok és a rendszert összekötő vezetékek is.

A kiégett fűtőelem-kazettákból áradó hő elvezetését a pihentető medence hűtését biztosító hűtőrendszer szolgáltatja. A feladatot kétszeres redundanciával tervezett hűtőkör végzi, amelyben egy-egy hőcserélő és szivattyú segíti a folyamatos hűtést. A hőcserélők szekunder oldala a biztonsági hűtővíz segítségével hűti a medencéből kivett vizet. Csak üzemzavar esetén működtetik a rendszer mindkét ágát, amíg a normálüzem biztosított, addig az egyik ág tartalék. Az üzem leállásakor a pihentető medence hűtése akár a primer vagy szekunder körön keresztül is megvalósítható.

A célzott biztonsági felülvizsgálat alapján kiderült, hogy a hűtőrendszerek a hazai nukleáris biztonsági szabályzatok követelményeinek megfelelnek, a célnak megfelelő védelemmel rendelkeznek.

A primer kör védetségét a konténment biztosítja. A maximális tervezési üzemzavar esetén fellépő nyomás szerint tervezték, s megépítése óta rendszeresen ellenőrzik nyomástartását. Szívó, illetve nyomó szellőzőrendszerek az elvárt nyomásviszonyokat, a normálüzem során a hermetikus tér hűtését pedig recirkulációs hűtőrendszerek szabályozzák.

Ha csőtörés történik a primer körben, akkor a keletkező radioaktív gőzök a konténment légmentesen zárt terébe kerülve megnövelik a benne lévő nyomást. A nyomás csökkentésére alakították ki a lokalizációs rendszert, amely a hermetikus térben elhelyezett nyomás- vagy hőmérsékletviszonyokat befolyásoló rendszerekből és berendezésekből épül fel. Ilyen:

- a lokalizációs torony;
- a sprinkler rendszer;
- a buborékoltató kondenzátorok;
- a hermetikus tér elkülönítő rendszere;
- az autokatalitikus rekombinátorok.

A lokalizációs torony a konténment passzív nyomáscsökkentő rendszerét foglalja magába. Az alábbi ábrán látható a hermetikus térben kiépített átömlő folyosó, amelyen keresztül a radioaktív közeget vezetik a lokalizációs torony felé. A toronyban légszűrők és buborékoltató kondenzátorok találhatók, amelyek feladata a gőz kondenzálása.

A buborékoltató kondenzátor függőlegesen elhelyezett 12 darab tálcáján átvezetik a radioaktív gőzöket, amelyek a bórsavoldattal töltött tálcákban lecsapódnak. A gőzkondenzáció után a felszabaduló levegőt visszacsapó szelepeken keresztül továbbítják a légszűrők felé, ahonnan a visszaáramlás nem lehetséges. Ezek segítségével valósítható meg a nyomás kiegyenlítése a konténmentben.

A sprinkler rendszer is az előző célt szolgálja, csak ezt úgy valósítja meg, hogy a hermetikus térbe hideg vizet permetez. A ZÜHR bórsavoldatot tartalmazó táptartályából nyerik ki a szükséges vizet, amelyet a sprinkler szivattyúkon keresztül juttatnak a permetező fejekbe. Ezzel a módszerrel a gáz halmazállapotú jód megkötése is elvégezhető úgy, hogy a hűtőközeghez lúgot kevernek. A bepermetezéssel és buborékoltatással járó megoldás is depressziót alakít ki a konténmentben, ezzel megakadályozva a szivárgást a környezetbe.

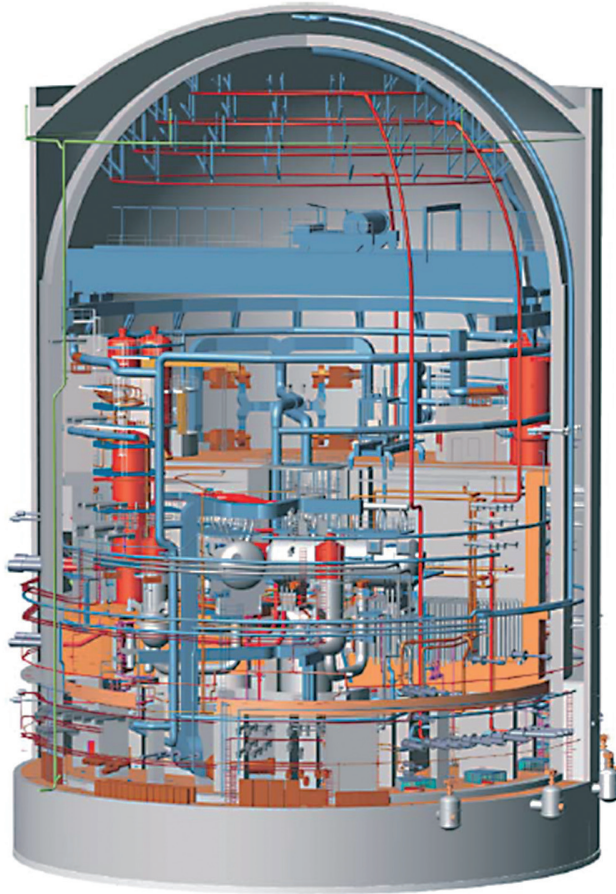
A hermetikus tér biztosításának érdekében a falon áthaladó csővezetékeket lezáró armatúrákat építettek be a külső és belső falra egyaránt. Ezek képesek szivárgással járó üzemzavarok esetén a radioaktív anyagok elszigetelésére a környezettől. Ennek a biztonságvédelmi lehetőségnek a neve a hermetikus tér elkülönítő rendszere.

Üzemzavarok során fejlődhet hidrogén, amelynek eltávolítására fejlesztették ki az autokatalitikus rekombinátorokat. Ezek segédenergia nélkül működnek, így ha a térben a hidrogén mennyisége a megengedett koncentráció fölé emelkedik, automatikusan elindulnak. A készülékben a radioaktív gázok a levegő oxigénjével találkoznak, majd vízzé egyesülnek. Ha a hidrogénkoncentráció a kívánt értéket elérte, a hidrogénkezelő rendszer leáll.

Az itt felsorolt, illetve ismertetett biztonsági rendszerek a VVER-1200-as technológiában már alappilléként szerepelnek. Az alábbiakban csak a biztonságvédelmi rendszer olyan elemei szerepelnek, amelyeket az említetteken kívül fognak beszerezni.

11.5.4. A VVER-1200/V491 reaktortípus biztonsági rendszere

A biztonsági követelmények szigorítása miatt a *Nukleáris Biztonsági Szabályzat (NBSZ)* nagyobb határértékek betartását követeli az új építésű atomerőművektől. Így a legsúlyosabb zónasérüléshez vezető események (a 850 mm átmérőjű csővezeték törésével és teljes feszültségkieséssel járó zónaolvadásos balesetek) most már egy nagyságrenddel kisebb gyakorisággal fordulhatnak elő, ami 10^{-5} /évet jelent. Egy további követelmény szerint a radioaktív kibocsátás várható gyakorisága 10^{-6} /év lehet. Ezek figyelembevételével fejlesztették ki a V491-es altípus biztonsági rendszereit, amit a konténment megerősítésével, az aktív és passzív rendszerek technikai finomításával hajtottak végre. Ennél fogva az új reaktorblokkok terveit alaposan kidolgozva lehetővé válik a tervezési alapon, valamint az alapon túli várható balesetek elleni védekezés.



11.3. ábra

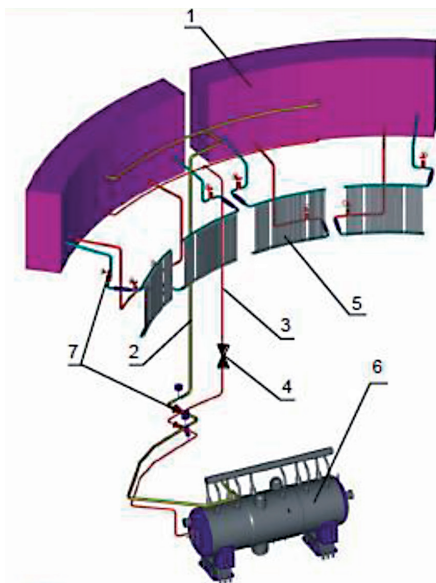
A konténment metszete

A tervezett konténment a teljes primer kört és a vészhűtőrendszert lefedő, kettős falú, hengeres alapterületű védőépület, amelynek falvastagsága 2,4 m, külső átmérője 50 m. A beton-szerkezetet előfeszítésnek teszik ki, majd belülről 6 mm vastag hegesztett acélburkolattal fedik be, amelynek az a feladata, hogy megakadályozza a radioaktív anyagok kiszivárgását. (HÓZER–PÁZMÁNDI 2014) A belső fal vastagsága 1,2 m.

A 11.3. ábra a konténmentet ábrázolja. A környezeti hatásoktól vagy az emberi tevékenységekből fakadó külső veszélyektől védelmez a konténment külső része. A két fal közötti légtérben folyamatos elszívást végeznek speciális szűrők segítségével. A falakon keresztülmenő vezetékeket beágyazzák a védőépület falába, a belső fal belső oldalán pedig odahegesztik a fal acélburkolatához. Továbbá a falon átmenő összes csővezetékre szelep van felszerelve.

Az aktív rendszereket az üzemzavarok elhárítása érdekében négyszeres redundanciával építették ki. Ebben a technológiában megjelenik a vészbőrizó rendszer, amely üzemelése során 40 g/kg bórsav-koncentrációjú hűtővizet adagol a fő keringető csővezetékbe és a térfogat-kiegyenlítőbe azért, hogy a primer körí nyomás lecsökkenjen a megfelelő értékre. Emellett arra az esetre, ha a reaktor leállítását általános irányítórendszerek által nem sikerülne végrehajtani, biztosítja a láncreakció gyors leállítását. Az aktív biztonsági rendszereket négy egymástól független dízelgenerátor látja el elektromos árammal blokkonként.

A passzív biztonsági rendszerek jelenléte sokat javított az atomerőművek megbízhatóságán. Ezek segítségével üzemzavar esetén 72 órán át elvégezhető a primerkör és a reaktor hűtése anélkül, hogy operátori beavatkozás történne, továbbá ez idő alatt elvégezhető a karbantartási feladatok.



11.4. ábra

A maradványhő-elvezető rendszerek sematikus ábrája

A maradványhő passzív módon történő elvezetésére alakították ki a 11.4. ábrán látható rendszert, amelynek részei a számoknak megfelelően vannak feltüntetve: 1 – passzív üzembiztosító hűtőrendszer-tartályok; 2 – csövezeték; 3 – kondenzátum-csővezeték; 4 – a gőzfejlesztő passzív maradványhő-eltávolító rendszerének szelepei; 5 – a konténment passzív maradványhő-eltávolító rendszerének hőcserélője; 6 – gőzfejlesztő; 7 – izoláló szelepek.

Ez a kettős funkciót ellátó rendszer csak súlyos balesetek bekövetkezése esetén kapcsol be. Feladata a gőzfejlesztőből és a konténmentből való hőelvitel, amit mindkettőnél négy párhuzamos ágon futó természetes cirkulációval valósít meg. (HÓZER–PÁZMÁNDI 2014) A gőzfejlesztők víztere csövezetéken csatlakozik a védőépületen kívül, a gőzfejlesztőknél magasabban elhelyezett hűtőrendszeri tartályokhoz. A konténmentben elhelyezett hőcserélők ugyancsak ezekhez a tartályokhoz csatlakoznak. Ezáltal nem a konténmenten belül történik meg a hőelvezetés, ami akkor veszélyes, ha a külső tartályok megrongálódnak.

Ez a reaktortípus már rendelkezik olyan védelmi mechanizmusokkal, amelyek az eddig bemutatott üzembiztosító rendszerek nem megfelelő működését követően lépnek életbe. Ha nem sikerülne lehűteni a reaktort, bekövetkezik a zónasérülés, és megállíthatatlan annak megolvadása. Erre az eshetőségre is kifejlesztettek egy megoldást, amelyet zónaolvadék-csapdának neveztek el. Ez egy tartály közvetlenül a reaktor alá építve, amelynek $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -t tartalmazó kerámia borítja a belsejét. A keverék mellé gadolíniumot is adnak a neutronelnyelés elősegítésére. Ez a töltet képes elkeverni és felhígítani a megolvadt reaktortartály anyagát. A reaktort és a csapdát összekötő csatornán keresztül lefolyik a közel 2600 °C -os kórium, majd a zónaolvadék-csapda felfogja, lehűti, illetve megszilárdítja azt. A csapda hűtését passzív módon biztosítják. Ennek a biztonságtechnikai rendszernek a megtervezését a környezet védelme is indokolta. A cél az volt, hogy az olvadék ne lépjen kölcsönhatásba az alap vasbeton szerkezettel, mert azon keresztül rövidesen a talajrétegbe kerülnének a radioaktív anyagok.

Mindezek mellett a külső természeti hatások elleni védekezésre is nagy hangsúlyt fektettek a V491-es altípusú reaktor tervezésénél. A legfontosabbak a következők: földrengés, szélvihar, árvíz, szökőár, robbanás lökeshullámai, repülőgép rázuhanása.

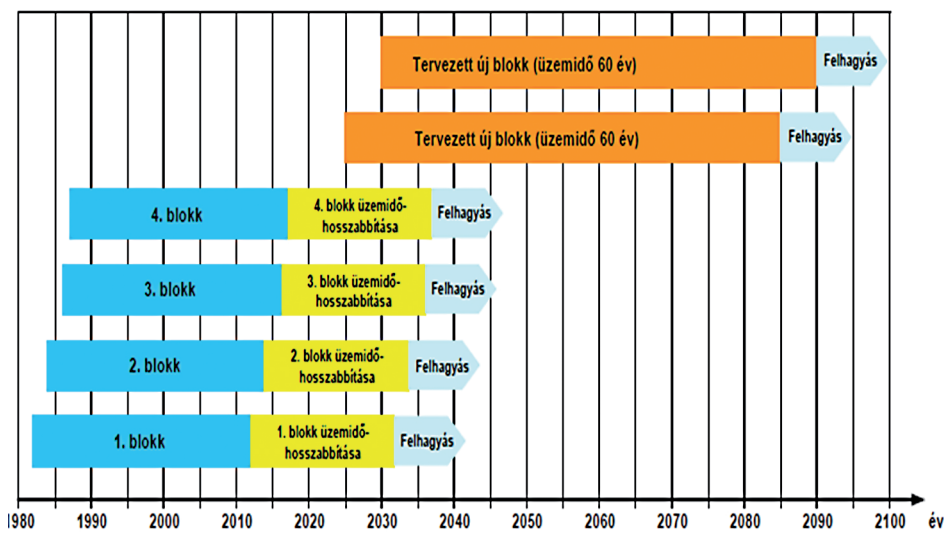
Az épületszarnokot érő lökeshullámok erejét mérsékelni tudják lengéscsillapítók alkalmazásával. A 180 km/h sebességű széllelőkekre is ellenállnak a biztonsági berendezések. A szökőár miatt nem kell hazánkban aggódnunk, viszont árvíz elleni védőgátak építése már az első blokk építésekor megtörtént, és azóta is figyelemmel kísérik annak állapotát. A robbanások és repülőgépek okozta károk ellen a konténment védi a reaktort és a hozzá kapcsolódó berendezéseket. (HÓZER–PÁZMÁNDI 2014)

11.6. Egyéb biztonsági és technológiai megfontolások

11.6.1. Hűtővíztornyok építése

Az új blokkok üzembiztosító állítása után a 11.5. ábrán jól látható, hogy hét évig a meghosszabbított üzemidővel működő négy VVER-440-es blokk, illetve a két új atomerőművi egység együtt fog villamos energiát szolgáltatni az országnak. A technológiai vízigényeket dunai vízkivételből, valamint a kilenc darab mélyfúrású kútból biztosítják. A telephely működtetéséhez szükséges ipari és tűzvíz forrása is a Duna. A kutak közül négy darab

áll rendelkezésre, a többit vagy eltömítették, vagy készenléten tartják. Az összesen 4400 MW névleges teljesítményű termelés hatására a Dunából kivett friss hűtővíz az eddigi 100–110 m³/s mennyiség duplájára fog növekedni. Ennek az a következménye, hogy duplaannyi átlagosan 8 °C-kal felmelegedett víz fog a folyóba kerülni.



11.5. ábra

A blokkok üzemideje

Forrás: ROMENDA et al. 2012

A biztonságtechnikai rendszerek ellátásához, valamint a normálüzemi állapot fenntartásához szükséges vízmennyiséget más forrásokból is finanszírozni lehet. Megoldás lehet hűtővíztornyok építése. Ezzel a Dunából kivett víz cirkulátását lehetne elvégezni a tercier körben, ami kevesebb vízmennyiség felhasználását tenné lehetővé. A nyári vízállás csökkenésekor is biztonságos hűtővízellátást biztosítana a blokkok számára. Továbbá ha az elfáradt hűtőfolyadék cserére szorul, akkor a tornyok a folyó hőmérsékletéhez igazodva engednék vissza a vizet folyómederbe, ezzel is védve a környezetet.

11.6.2. Az erőművek elleni lehetséges informatikai támadások kivédése

Az automatizálással az emberi hibák kiküszöbölését könnyen lehet elérni, de ennek kockázatai is lehetnek, mint például a kibertámadások. A mai számítástechnikai rendszerek folyamatos fejlődésének köszönhetően mindennapossá váltak az ilyen jellegű támadások a világban. A nukleáris ipari kibertámadások az erőmű informatikai rendszerét támadják meg, és képesek akár a paramétereket szolgáltató műszerek megbénítására anélkül, hogy

az operátorok erről tudomást szereznének. Ezáltal olyan balesetek okozására adnak lehetőséget, amelyek elhárítására csak az időben fellépő intézkedések tudnak válaszolni.

A történelemben már volt ehhez hasonló példa, mint az Iránban történt Stuxnetnek elnevezett vírus, amely a natanzi urándúsító üzemtet támadta meg. Ezt a vírust nem robbanásszerűre, hanem lassú, fokozatos kivitelezésre tervezték, aminek célja az uránt dúsító gázcentrifugák megrongálása és a dúsító produktivitásának csökkentése volt. A felfedezése gyorsan megtörtént, így nem okozott maradandó károkat. A Stuxnet egy úgynevezett számítógépes féreg, amely az ipari folyamatszabályozó rendszereken keresztül fejti ki hatását úgy, hogy kémkedik az adott rendszer után, és bizonyos esetekben felül is írja annak a működését. 2010-ig nem vittek be álcázott számítástechnikai vírust ehhez hasonló PLC-rétegbe. (CSERHÁTI 2011)

Fontos kiemelten kezelni a folyamatirányító, illetve biztonsági rendszereket megtámadó vírusokkal járó következményeket. Az említett esetből tanulva az új blokkok felszerelésének beszerzésekor e támadások elleni védekezésre is nagy hangsúlyt fognak fektetni, ugyanis ezek az atomerőmű biztonságos működését fenyegethetik.

11.6.3. Az építkezés közelségéből adódó veszélyek

A 2019-ben kezdődött építkezés helye közvetlen a két ikerblokk mellett kap helyet. Nagyobb forgalomra kell számítani az építőanyagokat szállító teherautók miatt Pakson és az erőmű területén is. Ez a környék zaj- és vibrációs szintjének, valamint a levegő portartalmának növekedésével jár. Az aktív földmunkák, fúrások és közlekedési eszközök használata jelentős rezonanciát és porszennyezést okozhat, amit a létesítmény üzemszerű működése szempontjából kezelni kell.

Éppen ezért az új blokkok építésekor kiemelt figyelmet fognak fordítani az építkezés közben használt berendezések és a dolgozók által okozható károk megelőzésére. A nehézgépek mozgásának korlátozása, engedélyezése és ellenőrzése nagy jelentőségű a nukleáris biztonság és védettség magas szinten tartása érdekében.

11.6.4. A földrengések elleni védekezés

A természeti katasztrófák közül az atomerőműre leginkább a földrengés gyakorolhat a biztonságos működtetést befolyásoló hatást. A működő blokkok mellé épített tartályok, egészségügyi, illetve laboratóriumi épületek nem 100%-osan védettek ilyen esetekben. Sőt a telephely tervezése során a földrengések hatásait nem minősítették, így a tervezési alapon lévő baleseti forrásként sem szerepelnek. Viszont ennek korrigálására az 1990-es években új tervek és épületmegerősítések történtek.

A telephelyen folyó vizsgálatok során mért maximális szabadfelszíni vízszintes gyorsulás 0,25 g, a függőleges pedig 0,2 g. Ezek gyakoriságát 10^{-4} /év, vagyis 10 ezer év alatt kell tartani. Mivel a földrengések okozta talaj- és épületsüllyedések nem kizárhatók, így a föld alatti csővezetékek eltörésével, valamint kábelek elszakadásával, de legjobb esetben is elmozdulásukkal számolni kell. (EILER et al. 2011)

11.7. Néhány fontos tény a Paks II. projekt gazdasági és nemzetközi vonatkozású aspektusaival kapcsolatban

A paksi beruházás ellenzői a projekt megtérülésével kapcsolatban folyamatosan aggályokat és kételyeket fogalmaznak meg. Emellett pedig továbbra is arra számítanak, hogy az Európai Unió majd „tiltott állami támogatást” talál a projektben. Sokszor elhangzik az a kijelentés is, hogy „a paksi bővítés megtérüléséhez úgymond a jelenlegi két-háromszorosan meghaladó áramarra van szükség”. A valóság azonban teljesen más. Kormányzati nyilatkozatok szerint a Paks II. termelési egységkölsége a teljes, 60 éves üzemidőre számolva 15–17 Ft/kWh (50–55 euró/MWh) körül lesz. A 2014 februárjában – az orosz–magyar egyezmény megkötését követően – elvégzett független gazdasági számítások (FRAUNHOFER 2015) is azt mutatják, hogy a teljes üzemidőre vonatkozó termelési egységkölség (2014. februári adatokkal számolva) közel 17 Ft/kWh-ra adódik. Ez a költség már tartalmaz egy 60 fillér/kWh költségelemet is, amely Paks II. jövőbeli hulladékkezelési/kiegészítőfűtőelem-kezelési költségeinek a finanszírozását hivatott biztosítani. A számítás bemutatja azt is, hogy a 21 éves hiteltörlesztési időszakot követően eljön majd a beruházás „aranyvége”, hiszen az utolsó 39 évben – mai árakon számolva – már csak közel 9 Ft/kWh maradhat a két új paksi blokk termelésével kapcsolatos összes költség.

A hazai számítások mellett nemzetközileg is igazolható Paks II. létjogosultsága. Példa erre a 2015. augusztus 31-én a Nemzetközi Energia Ügynökség és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által publikált *Projected Costs of Generating Electricity – 2015* című kiadvány is. A két nemzetközi szervezet egyértelműen bemutatja azt, hogy az alaperőművi termelést biztosító gáz-, szén- és atomerőművek közül, de akár még a megújulókkal is összehasonlítva a teljes üzemidőre vonatkozó kalkuláció esetén az atomerőművek által termelt villamos energia a legversenyképesebb.

2015. december 22-én pedig a hazai kormányzat nyilvánosságra hozta a Rothschild bankház által készített elemzést, amely szintén azt igazolja, hogy: „A Paks II bevételei elegendők lesznek minden költség fedezésére, beleértve a tőke, a tőke kamatai, az üzemanyag, az üzemeltetés, a karbantartás, a hulladékkezelés és a majdani leszerelés költségeit is.” Végül, de nem utolsósorban érdemes elgondolkozni egy kicsit, hogy ha az atomenergia ennyire „brutálisan drága”, akkor miért kötelezi el magát egyre több ország olyan új blokkok építése mellett, amelyek garantált üzemideje 60, azaz hatvan év.

Paks II. gazdasági megítélése szempontjából pedig igencsak fontos a 40%-os hazai beszállítói lehetőség, a költségvetési pluszbevételek, valamint az átlag 4,5%-os hitelkamat, amely szintén rendkívül előnyös Magyarország számára. Hozzáátéve azt is, hogy az orosz hitel eredményeképpen egy olyan beruházási lehetőséget kapunk, amelynek GDP-növelő, munkahelyteremtő és versenyképességét növelő hatása lesz.

Nagyon sokszor felmerül az orosz–magyar egyezményrel kapcsolatban az, hogy hazánkknak nem volt „joga” azt megkötni, hiszen kizárólag csak egy nemzetközi tender keretében lehetett volna kiválasztani a szállítót. A világon eddig mindenhol csak kiválasztás alapján szerződtek. Példa erre Finnország, hiszen egyedi megállapodással az új Hanhikivi-1 atomerőmű megépítésére szintén az orosz felet választották. Néhány héttel ezelőtt pedig már az első „kapavágás” is megtörtént a telephelyen.

11.8. Végszó

Vajon miért is kardoskodunk az atomenergia mellett ahelyett, hogy a divatos zöld szövegeket ismételve bizonygatnánk az úgynevezett megújuló energiaforrások előnyeit, és mindenféle eszközzel „leírnánk” az atomenergiát?

A válasz egyszerű. Mivel Magyarország természeti kincsekben viszonylag szegény (ez az energiahordozókat is érinti), fekvése miatt éghajlata kontinentális, a Kárpátok és az Alpok árnyékoló hatása erőteljesen érvényesül, domborzata miatt vizeinek esése csekély, így gyakorlatilag ki van zárva, hogy a szél, nap, víz energiája stratégiai jelentőségű legyen az energiafüggetlenségünk kompenzálására.

Továbbá az emberiség célja az kell, hogy legyen, hogy az előtte álló problémákat ne a környezetre hárítva, annak terhére oldja meg. Ez hatványozottan igaz az energiapolitikára is. Az atomenergián kívül egyetlen „környezetkímélő” technológiára sem kötelező érvényű a létesítésnek az az alapvető feltétele, hogy mind az üzemanyagnak, mint a létesítésre felhasznált anyagoknak zárt életciklust kell alkotnia. Vagyis az emberiség egyedül az atomenergia békés felhasználásánál valósította meg azt az elvet, hogy tevékenységével minimalizálja a környezetre kifejtett hatását.

Egyelőre csak az atomenergia képes gyakorlatilag tetszőleges volumenben és elhanyagolhatóan kis térben előállítani a szükséges energiát, ráadásul a legkisebb költségekkel. Ki kell használnunk ezt az ajándékát a tudománynak és technikának, hogy egy jobb, tisztább világot építhessünk nemcsak magunknak, hanem az összes fajnak, amellyel megosztjuk ezt a bolygót.

Felhasznált irodalom

- ASZÓDI A. – BOROS I. (2015): Új blokkok a paksi telephelyen – 2. rész. *Fizikai Szemle*, 65. évf. 11. sz. 377–382.
- ASZÓDI A. (2015): Új blokkok a paksi telephelyen – 1. rész. *Fizikai Szemle*, 65. évf. 10. sz. 334–338.
- Üzemidő Hosszabbítási Projekt összefoglalása. (2013) A Paksi Atomerőmű honlapja. Elérhető: www.atomeromu.hu/hu/Documents/Az_Uzemido-hosszabbitasi_Projekt_osszefoglalasa.pdf (A letöltés dátuma: 2017. 11. 15.)
- BEREK T. (2016): A vízbiztonsági tervezés szerepe a fenntartható vízgazdálkodásban. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26. évf. 2. sz. 32–48.
- CSERHÁTI A. (2011): A Stuxnet vírus és az iráni atomprogram. *Fizikai Szemle*, 61. évf. 5. sz. 150–155.
- CSURGAI, J. – ZELENÁK, J. – LAJOS, T. – GORICSÁN, I. – HALÁSZ, L. – VINCZE, Á. – SOLYOSI, J. (2006): Numerical simulation of transmission of NBC materials. *Academic and Applied Research in Military Science*, Vol. 5, No. 3. 417–434.
- CSURGAI J. – GORICSÁN I. – ÁCS B. – CSÓK L. – HALÁSZ L. – LAJOS T. – PINTÉR I. – SOLYOSI J. – VINCZE Á. – ZELENÁK J. (2005): ABV-anyagok terjedésének numerikus, számítógépes szimulációja. *Haditechnika*, 39. évf. 1. sz. 13–19.
- EILER J. – ELTER J. – HAMVAS I. (2011): *Célzott biztonsági felülvizsgálati jelentés*. A Paksi Atomerőmű honlapja. Elérhető: www.atomeromu.hu/hu/Documents/CBFJ.pdf (A letöltés dátuma: 2017. 11. 15.)

- ELTER J. – GADÓ J. – HOLLÓ E. – LUX I. (2013): *Atomreaktorok biztonsága I.* Budapest, ELTE Eötvös Kiadó.
- FRAUNHOFER (2015): *Energy and Resources.* München, Fraunhofer Institut. Elérhető: www.fraunhofer.de/en/research/fields-of-research/energy-resources.html (A letöltés dátuma: 2018. 02. 11.)
- HÓZER Z. – PÁZMÁNDI T. (2014): Új blokkok a paksi atomerőműben. *Nukleon*, 7. évf. 1. sz. 152.
- HÓZER Z. (2015): Az új paksi reaktorok üzemanyaga. *Fizikai Szemle*, 65. évf. 12. sz. 417–419.
- IAEA (2013): *Under construction reactors.* Vienna, International Atomic Energy Agency. Elérhető: www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx (A letöltés dátuma: 2017. 11. 15.)
- IAEA (2014): *Operational and long-term shutdown reactors.* Vienna, International Atomic Energy Agency. Elérhető: www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByType.aspx (A letöltés dátuma: 2017. 11. 15.)
- IEA (2014): *World Energy Outlook – 2014.* Paris, International Energy Agency. Elérhető: www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2014.pdf (A letöltés dátuma: 2018. 02. 14.)
- KIRÁLY M. – RADNÓTI K. (2016a): Az atomerőművek működéséről egyszerűen, típusaik és jövőjük – 2. rész. *Fizikai Szemle*, 66. évf. 11. sz. 372–377.
- KIRÁLY M. – RADNÓTI K. (2016b): Az atomerőművek működéséről egyszerűen, típusaik és jövőjük – 3. rész. *Fizikai Szemle*, 66. évf. 12. sz. 403–407.
- MAVIR (2015): *Éves jelentések 2003–2015.* Budapest, Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság. Elérhető: www.mavir.hu/web/mavir/eves-jelentesek-2003-2012/Eves_jelentes_jav_10_18.pdf (A letöltés dátuma: 2018. 02. 23.)
- PADÁNYI J. (2015): Vízkonfliktusok. *Hadtudomány*, 25. évf. Elektronikus különszám. 272–284.
- PADÁNYI, J. – FÖLDI, L. (2016): Security Research in the Field of Climate Change. In NÁDAI, L. – PADÁNYI, J. eds.: *Critical Infrastructure Protection Research: Results of the First Critical Infrastructure Protection Research Project in Hungary.* Zürich, Springer International Publishing. 79–90. (Topics in Intelligent Engineering and Informatics, 12.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2_7
- ROMENDA T. – GÁTINÉ MAGYAR R. – GYÖNGYÖSI P. – RESZLER H. – ROSENFELD S. (2012): *Új atomerőművi blokkok létesítése – Előzetes konzultációs dokumentáció* (2012. 10. 26.) A Paksi Atomerőmű honlapja. Elérhető: www.mvmpaks2.hu/hu/Dokumentumtarolo/EKD-HUN.pdf (A letöltés dátuma: 2017. 09. 30.)
- RÓNÁKY J. – MACSUGA G. – VOLENT G. – CSURGAI J. – CZIVA O. – HORVÁTH K. – PETŐFI G. – VINCZE Á. – ZELENÁK J. – SOLYOSI J. (2007): A nukleáris létesítmények katonai terror-fenyegetettségének értékelése I.: A nemzetközi és hazai szabályozás, valamint a gyakorlat áttekintése. *Hadmérnök*, 2. évf. 1. sz. 77–85.
- RÓNÁKY J. – PETŐFI G. – VOLENT G. – MACSUGA G. – HORVÁTH K. – CSURGAI J. – CZIVA O. – MOLNÁR L. – TÓTH J. – VINCZE Á. – ZELENÁK J. – SOLYOSI J. (2007): A nukleáris létesítmények katonai terror-fenyegetettségének értékelése II.: A Paksi Atomerőmű katonai terror-fenyegetettségének értékelési eljárása. *Hadmérnök*, 2. évf. 2. sz. 32–49.