

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

A hazai nukleáris energiatermelés jellemzése, kockázatainak katasztrófavédelmi és környezetvédelmi szempontú összefoglalása

Jelige: Nukleáris energiatermelés

Pályamunka lezárásának időpontja: 2023.szeptember

2025.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	4
1.1 Témaválasztásom indoka	4
1.2 Témaválasztásom aktualitása	5
1.3 Kutatási módszerek	5
1.4 Célkritikák	5
2. NUKLEÁRIS ENERGIATERMELÉS FONTOSSÁGA	6
2.1. Energia, nukleáris energia meghatározása	6
2.2. Nukleáris energiatermelés elterjedése, nukleáris energia szerepe, előnye, hátránya, veszélyeztető tényező	8
2.3. Energiaellátás más módjai	11
3. NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK	15
3.1 Nukleáris létesítmények Magyarországon	15
3.2. Atomreaktorokról általánosan	20
3.3 Atomerőművek generációi	24
4. PAKSI ATOMERŐMŰ BEMUTATÁSA	27
4.1. Jogszabályi háttér, felügyeleti szerv	30
5. BIZTONSÁG MEGVALÓSULÁSA AZ ATOMERŐMŰVEKBEN	33
5.1 Biztonságos működés	33
5.2 INES rendszer ismertetése	38
5.3 Baleset-elhárítás	40
6. HAZAI ENERGIAELLÁTÁS HELYZETE	46
6.1. Hazai nukleáris energiatermelés	46
6.2. Lakosság ellátottsága, ellátásbiztonság	48
6.3. Energiafüggőség	51
7. AZ ENERGIAELLÁTÁS KIHÍVÁSAI A JÖVŐBEN	53
7.1. Paks II.	53
7.2. Rövid távú cél az árstabilitás elérése	56
7.3. Hosszú távú cél a klímasemlegesség elérése	58
7.4. Külföldi kitekintés	61
8. NUKLEÁRIS ENERGIATERMELÉSEL KAPCSOLATOS KÉRDÉSSOR FELDOLGOZÁSA	63
9. JAVASLATAIM	74
10. ÖSSZEGZÉS	76

11. FELHASZNÁLT IRODALOM	78
12. ÁBRAJEGYZÉK	87

1. BEVEZETÉS

Egy ország életében kiemelt szerepet kap az energiaellátás versenyképessége, fenntarthatósága ez Magyarországon sincs másként. Hazánk is rendelkezik energiasztratégiával, melyben számos nemzeti érdeket érintő stratégia került kidolgozásra. Az atomenergia alkalmazása kulcsfontosságú a biztonságos energiaellátás szempontjából. Hazai vonatkozásban a Paksi Atomerőmű működő négy reaktora kevesebb, mint 50%-kal járul hozzá a termeléshez, azonban az épülő két blokk ennek növekedését fogja eredményezni. Ezen és még számos okból kifolyólag, a nukleáris energia szerepe egyre inkább felértékelődik az idő előrehaladtával. Rég múltra tekint vissza, kezdve a maghasadás és a láncreakció felfedezésétől az atombomba feltalálásáig, eljutottunk az atomenergia békés célú felhasználásáig, melyet törvényi úton szabályoznak. A visszatekintésből az évszázad nagy nukleáris baleseteit sem szabad kihagyni. Napjainkban az atomenergia még mindig igen megosztó téma a lakosság körében, de már valamelyest javult a közmegítélés. Köszönhetően a nukleáris létesítményekben megvalósuló biztonságnövelő programoknak, a szigorú jogszabályi háttérnek, valamint a folyamatos tájékoztatásnak ezáltal, a múlt valós félelmei elmúlni látszanak.

A kitűzött célok között szerepel a fosszilis tüzelőanyagok kiváltása, azonban ez önmagában a nukleáris energiával nem lehetséges, szükség van a megújuló energiaforrások legszélesebb körben elérhető használatára. Hazánk adottságai, azonban nem éppen kedvezőek e téren, a nap és geotermikus energia jelenti számunkra az alternatív forrásokat. A nem megújuló energiaforrások visszaszorítására, kivezetésre környezetvédelmi szempontból van szükség. Ugyanis az általuk kibocsátott üvegházhatású gázok visszafordíthatatlan károkat okoznak a természetben. Tehát a klímasemlegesség és a dekarbonizációs gazdaságra való átállás mindnyájunk érdekében fontos mérőföldkő. Eléréséhez az atomerőművi kapacitás bővítésére van szükség. Amely továbbá erősíti az ellátásbiztonságot és egyúttal az energiafüggetlenségünket is képes enyhíteni.

1.1 Témaválasztásom indoka

A hazai nukleáris energiatermelésről számos alkalommal hallottam már a hétköznapiakban, de közelebbről a sugárvédelem tárgy keretében ismerkedtem meg vele. Felkeltette a figyelmemet és úgy gondoltam a csekély óraszámok miatt az óra keretein belül nem tudok kellően elmerülni a témában. Tovább mélyítette az érdeklődésemet az, hogy feldolgoztam az 1979-ben történt Three Mile Island atomerőművi balesetet. Mely során megismerkedtem az atomerőmű felépítési és működési rendjével. Tehát ezek hatására a téma szélesebb körű kutatásába kezdtem. Elsőként az atomreaktorokban zajló folyamatokat szerettem volna jobban megérteni. Majd a különböző reaktortípusok, illetve generációk sajátosságait kívántam áttekinteni. Ezen

információk birtokában érdekesnek találtam a Paksi Atomerőműről és a külföldi atomerőművekről olvasottakat. Azonban kíváncsi voltam a magukkal hordozott veszélyekre és a megoldást jelentő biztonsági rendszerekre, illetve a környezetvédelmi kihívásokra adott válaszokra. Foglalkoztatott hazánk jelenlegi és jövőbeli energiaellátási helyzete is.

1.2 Témaválasztásom aktualitása

A nukleáris energiatermelés egy napirenden lévő és sokat vitatott téma. Rendkívül összetett kérdéskör mely a bővülő lakosság kiszolgálásával egy időben a környezet megóvást is előtérbe helyezi. Egyrészt meghatározó szerepet tölt be a fokozódó igények kielégítésére. Másrészt a klímaváltozás és a hosszú távú fenntartható fejlődés fontossága miatt, egyre inkább világossá válik, hogy tenni kell, azért, hogy mérsékeljük a szén-dioxid kibocsátást és környezettudatosabb módon használjuk a meglévő erőforrásainkat.

1.3 Kutatási módszerek

A kutatási módszerem magába foglalja témában rendelkezésre álló szakirodalom áttekintését. Különösen a nukleáris létesítményekre, azon belül is az atomerőművek tanulmányozására, biztonsági szempontból való elemzésére, esetlegesen bekövetkezett baleset elhárításához szükséges válaszlépések megismerésére/kidolgozására kiterjedően. Illetve a magyar energiaellátás értékelése, az elkövetkező évek lehetőségeinek feltérképezése és más ország energiapolitikájának alapul vétele. Kutatási módszerem részét képezte még a lakosság ismereteinek felmérése a nukleáris energiatermeléshez kötődően, kérdőív formájában.

1.4 Célkitűzések

Elsődleges célom, hogy valamennyi megfogalmazott energiasztratégiai cél mentén körbejárjam e szerteágazó témát. A kutatásom által szeretnék rávilágítani arra a tényre, hogy a nukleáris energia a megfelelő működtetés mellett képes az energiaigényünket elfogadható mértékben kielégíteni. Másodlagos célom, hogy az általam kidolgozott anyag alapul szolgáljon az egyetemi oktatáshoz és e témában kutatók számára.

2. NUKLEÁRIS ENERGIATERMELÉS FONTOSSÁGA

2.1. Energia, nukleáris energia meghatározása

Az energia áll a mindennapjaink középpontjában, nélküle elképzelhetetlen lenne az élet. Az egyszerű folyamatoktól, a bonyolultig mindenhol jelen van. A minket körülvevő anyagokat kémia, mechanikai tulajdonságaik alapján különíthetjük el. Halmazállapotuk szerint szilárd, folyékony, gáz, valamint plazmaállapotban lelhető fel a természetben. Az energia befolyásolja az atomok közötti kötéseket, azok erősségét, típusát, ezáltal az elemek szerkezetét is. A fizikában az energiát a munkavégzésre való képességként definiálják. Számos energiafajta létezik, például mozgási vagy kinetikus, potenciális vagy helyzeti energia, továbbá kémiai, elektromos, termikus vagy hőenergia. Különböző formáiban felszabadítható, tárolható, átalakítható, felhasználható, illetőleg minden esetben mozgással kapcsolatba hozható. Lehet az egy mozgásban lévő test, mozgási energiája vagy nyugalmi állapotban lévő tárgy által kifejtett potenciális energia. Mindemellett az energiamegmaradás törvénye kimondja, hogy energiát nem lehet sem létrehozni, sem megsemmisíteni, csak egyik energiatípusból átalakítani a másikba. Példának okáért az anyag energiává alakítható át és fordítva. Az energia mértékegysége a joule (J), az SI-mértékegységrendszer szerint.^{1 2}

Nukleáris energia vagy más néven atomenergia, az atommagból felszabaduló energia egyik formája. Az atomok sűrű magjában nagy mennyiségű energia található. Az atomenergiát fel lehet használni elektromosság előállítására, de először ki kell szabadítani az atomból. Kétféleképpen lehet felszabadítani: maghasadással és fúzióval. A 19. század végén fedezték fel a radioaktivitást, ezzel kezdődött meg a nukleáris energia utáni kutatás. Az atom felépítésének részletesebb megismeréséhez vezetett a láthatatlan sugarakat kibocsátó anyagokkal végzett kísérlet. Az ionizáló sugárzás környezetünk természetes része. Eredete a földkéregben, levegőben, növényekben és minden élő szervezetben található radioaktív elemekből ered. Tehát mindezen forrásból származó, bizonyos mennyiségű sugárzásnak, egytől egyig ki vagyunk téve. Ez a sugárzás a természetes háttérsugárzás. További dózist kapunk a kozmikus

¹ Encyclopedia Britannica online: Energy, <https://www.britannica.com/science/energy>, (2023.06.24.)

² Raymond L. Murray: Nuclear Energy (Fifth Edition) Butterworth-Heinemann, 2000, ISBN 0-7506-7136-X
[http://depni.sinp.msu.ru/~hatta/spool/books/Nuclear%20Energy%20-%20R.Murray%20\(2000\).pdf](http://depni.sinp.msu.ru/~hatta/spool/books/Nuclear%20Energy%20-%20R.Murray%20(2000).pdf),
(2023.06.24.)

sugárzásból és a különböző diagnosztikai és orvosi eljárások során. Az emberi szervezet viszont képes elviselni az ionizáló sugárzás e természetes dózisának hatásait.^{3 4 5}

³ Energy Encyclopedia: Nuclear energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/nuclear-energy>, (letöltés ideje: 2023.07.02.)

⁴ Encyclopedia Britannica online: Nuclear energy, <https://www.britannica.com/science/nuclear-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.03.)

⁵ International Atomic Energy Agency: What is Nuclear Energy? The Science of Nuclear Power, <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>, (letöltés ideje: 2023.08.03.)

2.2. Nukleáris energiatermelés elterjedése, nukleáris energia szerepe, előnye, hátránya, veszélyeztető tényező

A 2.1 fejezetben leírt rövid összefoglaló után, most részletesebben szeretném áttekinteni a nukleáris energiatermelés jellemzőit. A nukleáris energiára több évtizedes távlatból tekinthetünk vissza. Jelenleg több mint 400 működő atomerőmű elégíti ki a világ villamosenergia szükségleteit. Bizonyos országokban az atomenergia vált a legfontosabb villamosenergia-forrássá. Az atomenergia fejlődésének a folyamata az ötlettől a kereskedelmi megvalósításig nem volt egyszerű folyamat. Eseményekkel teli volt, megannyi sikerrel és kudarccal ötvözve. A kudarcokra a sajtó nagyobb hangsúlyt fektet, mint a sikertörténetekre, ezáltal próbálja a közvélemény figyelmét felkelteni. Az 1950-es években kezdődött az atomenergia behatolása a villamosenergia-piacra. Ezt az időszakot a lelkesedés, az intenzív kutatás és fejlesztés jellemezte, abban a reményben, hogy a világot megfizethető és végtelen alternatív energiaforrással látják el. Továbbá soha nem látott mértéket öltött a nemzetek közötti együttműködés az atomenergia békés célú felhasználásával kapcsolatban. A társadalom jó szemmel nézett a tudományos eredményekre és a tudósokra. Az 1960-as években az atomenergia technikailag bizonyított és kereskedelmileg életképes energiaforrássá vált. Újabb lökést adott az atomenergia előmozdításának és továbbfejlesztésének az 1970-es évek olajár sokkjai. A világ energiaellátásának változatossá tételére és a kőolaj megfelelő helyettesítésére az atomenergiát látták megfelelőnek. Ezek a tervek azonban nem voltak elég realistikusak és más tényezők is kedvezőtlenül befolyásolták az atomenergia fejlődését. Például az olajárak emelkedése a nyersanyagok áremelkedését is magával hozta, ennek köszönhetően megnőtt az atomerőművek költsége. Illetve negatívan hatottak a korai atomerőművekben jelentkező technológiai problémák, ezeket meg kellett oldani, ami növelte a költségeket és az építési időt. Az 1970-es években a kezdeti lelkeség után előtörték az emberekben az aggodalmak, az ismeretlentől való félelem, olykor az ellenszenv is. Ehhez hozzájárultak a környezetvédő szervezetek, a média és a politikusok is. Gyakran emlegetett fogalommá vált a „Kína szindróma” kifejezés ⁶, ami egy atomreaktort érintő baleseti szcenárió, miszerint az üzemanyag átolvad a konténment szerkezeten és a földbe fúródik. Az első nagyobb baleset, az Egyesült Államokban történt 1979-ben a Three Mile Island (TMI) atomerőműben. A baleset kihatással volt a helyzetre, több épülő projektet felfüggesztettek vagy töröltek. Néhány országot viszont nem tántorított el az erőteljes programjától. A TMI balesetnek a negatív hatások mellett, pozitív hozadéka is volt. Például a fejlesztések révén nőtt a biztonság és megbízhatóság. Az ezt követő

⁶ Dictionary.com: China syndrome, <https://www.dictionary.com/browse/china-syndrome>, (letöltés ideje: 2023.08.07.)

időszak fellendülést mutatott, azonban újabb baleset rázta meg a világot 1986.04.26-án, mely a Csernobili atomerőműben következett be. Az atomenergia jövője súlyosan megpecsételődt abból az időben. Manapság a több évtized stagnálás után újból előtérbe kerül a növekvő energiaigény miatt.

Az atomenergia ismérvei közül most az előnyeit és hátrányait szeretném felsorolni elfogultság nélkül, ésszerűen.

Előnyei:

- kifizetődőbb, mint a fosszilis tüzelőanyagok: az urán költségesebb, de jelentősebb mennyiségű energiát tudunk előállítani belőle
- elérhetőség: folyamatos működés az év minden napján 24 órában
- kevés hulladékot termel más tevékenységgel összehasonlítva: az igaz, hogy ezek igen veszélyesek, de megfelelő kezelés mellett, nem jelentenek kockázatot a környezetre
- technológia még fejlesztés alatt van
- nagy energiasűrűség
- kis tömegekkel, kis helyigénnyel üzemel
- egyszerű energiafelszabadítás (dúsított uránt tartalmazó fűtőelemek sűrűn egymás mellé helyezése, kritikus tömeg elérése után láncreakció magától beindul)
- környezetbarát, működés közben nem termel üvegházhatást okozó gázokat
- biztonságos, számos komplex biztonságnövelő intézkedésen estek át
- több évtizedes rendelkezésre állás, hosszú üzemidő ⁷

Hátrányai:

- az urán nem megújuló energiaforrás
- hosszú a leszerelési ideje
- baleseti kockázatot jelent
- baleset következményei
- nagy aktivitású radioaktív hulladékok kezelése, tárolása átmenetileg van megoldva
- a plutónium könnyen alkalmazható nukleáris fegyverként
- uránbányászat káros a környezetre és a munkavállalóra is, aki kitermeli ⁸

A hátrányok nagyban lefedik a veszélyeztető tényezőket. Azonban egyik technológia sem nyújt 100%-os biztonságot, ezt el kell fogadnunk. A közfelfogáson kell változtatni, nem lehet

⁷ Vidovszky István: AZ ATOMENERGIA ELŐNYEI ÉS KOCKÁZATAI, Fizikai Szemle 2003/8. 272.o., <http://fizikaiszemle.hu/old/archivum/fsz0308/vidov0308.html>, (letöltés ideje: 2023.07.02.)

⁸ Morris Wright: 14 Advantages and Disadvantages of Nuclear Energy, WARBLETONCOUNCIL, 2 April 2021, <https://warbletoncouncil.org/ventajas-desventajas-energia-nuclear-16161#menu-4>, (letöltés ideje: 2023.08.07.)

elégszer hangsúlyozni, hogy a kommunikációnak rendkívül fontos szerepe van ebben. Régi valós berögződés a pusztítástól, láthatatlan sugárzástól, titkolózástól, az újdonságtól való félelem. Azonban napjainkban már több éves tapasztalattal, információval, tanulással rendelkezünk ezen létesítményekről és a bennük zajló folyamatokról. Az újításokról pedig az érintett szervek folyamatos tájékoztatást nyújtanak, illetve aktívan bevonják az érintett lakosságot közmeghallgatás formájában. Úgy gondolom, a nukleáris energia szerepe egyre inkább felértékelődik a villamosenergia-ellátásban. Egyrészt azért, mert hathatós módja az ellátásbiztonság javításának, másrészt hozzájárul egy lényegi célkitűzéshez, az energiahatékonyság növeléséhez. Ami annyit jelent, hogy kevesebb energia felhasználásával érjük el ugyanazt a szolgáltatást. Erre azért van nagy szükség, mert a megbízható energiaellátás biztosítása komoly próbatételt jelent az energiafelhasználás emelkedésével. Amit egyebek között a népességnövekedés is elősegít. Még egy dolgot szeretnék kiemelni az atomenergia szerepei közül, mégpedig azt, hogy nagymértékben kedvez a közép és hosszú távú energiapolitika megállapításához.

9 10 11

⁹ Komáromi János: ATOM és ENERGIA, <https://mek.oszk.hu/14600/14653/14653.pdf>, (letöltés ideje: 2023.08.04.)

¹⁰, Char, N.L., Csik, Bela J.: Nuclear power development: History and outlook, International Atomic Energy Agency Bulletin, Vol. 29-3, September, 1987, <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull29-3/29304781925.pdf>, (letöltés ideje: 2023.08.06.)

¹¹ Csom Gyula: ENERGIAPOLITIKAI PRIORITÁSOK, Magyar Tudomány 2007/1, <http://epa.niif.hu/00600/00691/00037/pdf/004-010.pdf>, (letöltés ideje: 2023.08.07.)

2.3. Energiaellátás más módjai

Az imént tárgyalt nukleáris energia mellett, egyrészt a megújuló energiaforrásokat, azaz zöld energiát vagy alternatív energiaforrásokat említeném. Másrészt a nem megújuló energiaforrásokat, más néven fosszilis energiaforrásokat jegyezném meg az energiaellátás egyéb módozatainál.

Megújuló energiaforrások:

- napenergia
- szélenergia
- vízenergia
- biomassza
- geotermikus energia
- óceán, tenger hullámzásból kinyerhető energia
- árapály energia

Nem megújuló energiaforrás:

- kőszén
- kőolaj
- földgáz

Néhány szót ejtek az egyes felsorolt elemekről. Kezdeként a megújuló erőforrásokat taglalom.¹² A napenergia az egyik legnagyobb és folyamatosan rendelkezésre álló energiaforrásunk. Az országok különböző módon részesülnek belőle, de mindenkinek adódik lehetőség a napenergia kihasználására. Két felhasználási módja van: passzív és aktív. Most az aktív hasznosítás további két csoportjára szeretnék rátérni. Napkollektorok segítségével összegyűjtjük a napsugarakat, majd igénybe vesszük a hőtermeléshez. Illetve a fotovoltaiikus napelemekkel a bejövő sugárzást elektromos árammá alakítjuk, ez a fotoelektromos hasznosítás.¹³

A szélenergia egy időjárásfüggő és nem kontrollálható erőforrás, cserébe kellőképpen környezetkímélő. Az alkalmazásánál nagy gondot kell fordítani a szél erőművek telepítési helyének kiválasztására. Míg a többi megújuló energiaforrással összevetve a legcsekélyebb

¹² MET MAGYARORSZÁG ZRT.: Megújuló energiaforrások fajtái, előnyei és hátrányai, <https://hu.met.com/hu/mind-the-fyouture/mindthefyouture/megujulo-energiaforrasok>, (letöltés ideje: 2023.08.04.)

¹³ Energy Encyclopedia: Solar energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/solar-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)

fosszilis energia kiváltására alkalmas, mégis kis területen nagyon kedvezően hatnak az energiaellátásra.¹⁴

A vízenergia magas hegyekkel, nagy esésű vízfolyásokkal rendelkező területen rugalmasan alkalmazható. A vízerőműveknek 3 típusát különítjük el:

- folyóvízre telepített vízerőművek (elektromos áramot a víz természetes lefolyásával generálják)
- víztározókhoz tartozó erőművek (az áramot az összegyűjtött nagy mennyiségű víz leeresztésével állítják elő)
- szivattyús energiatározó vízerőművek

Vízből kinyerhető erőforrások közül lehetőséget rejt magában az óceán, tenger vízének hullámzása, valamint az árapály jelenség vízmozgásából származó energia is. A belőlük származó energia felhasználását nem minden esetben lehet kivitelezni, a kitermelhetőségi korlátok miatt.¹⁵

A biomassza növényi anyagok, állati hulladékok, valamint a kommunális és ipari hulladékok szerves összetevőiből áll. Nemcsak a biomassza-tüzelésű erőművekben történő villamosenergia-termelésben, hanem az alternatív bioüzemanyagok előállításában való felhasználása is ígéretes. Ezenkívül számos előnnyel rendelkezik például: megfizethető energiaforrás, területi eloszlása arányos, egyszerűen beszerezhető, valamint minimális mennyiségű üvegházhatású gázt termel.¹⁶

A geotermikus energia a Föld hőenergiája. Ennek az energiának egy része már négy milliárd éve itt van, míg egy másik része a radioaktív elemek bomlása során szabadul fel. Emellett a geotermikus energia olcsó, megújuló, nagy potenciállal és fényes jövővel rendelkezik. Hátrányként említendő, hogy eloszlása egyenetlen és ipari alkalmazáshoz túl mélyen lelhető fel.¹⁷

Rátérve a fosszilis energiahordozókra, csupa rossz dolgot hallunk róluk, mégis igényeink nagy százalékát általuk elégítjük ki. Mint tudjuk a kőolaj, földgáz, szén elégetése révén állítanak elő villamos energiát a hőerőművek. Ugyanakkor a termeléshez használatos tüzelőanyagok száma véges, ráadásul elégetésükkel súlyos környezeti károkat okozunk, mint például az üvegházhatás

¹⁴ Energy Encyclopedia: Wind energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/wind-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)

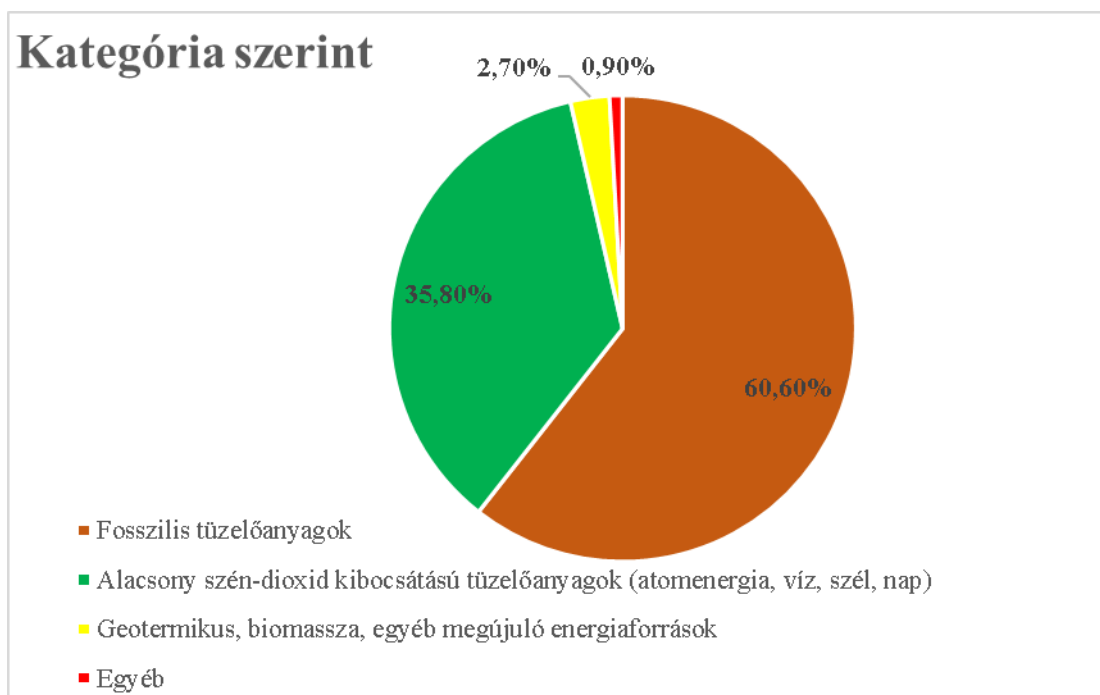
¹⁵ Energy Encyclopedia: Water energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/water-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)

¹⁶ Energy Encyclopedia: Biomass energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/biomass-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)

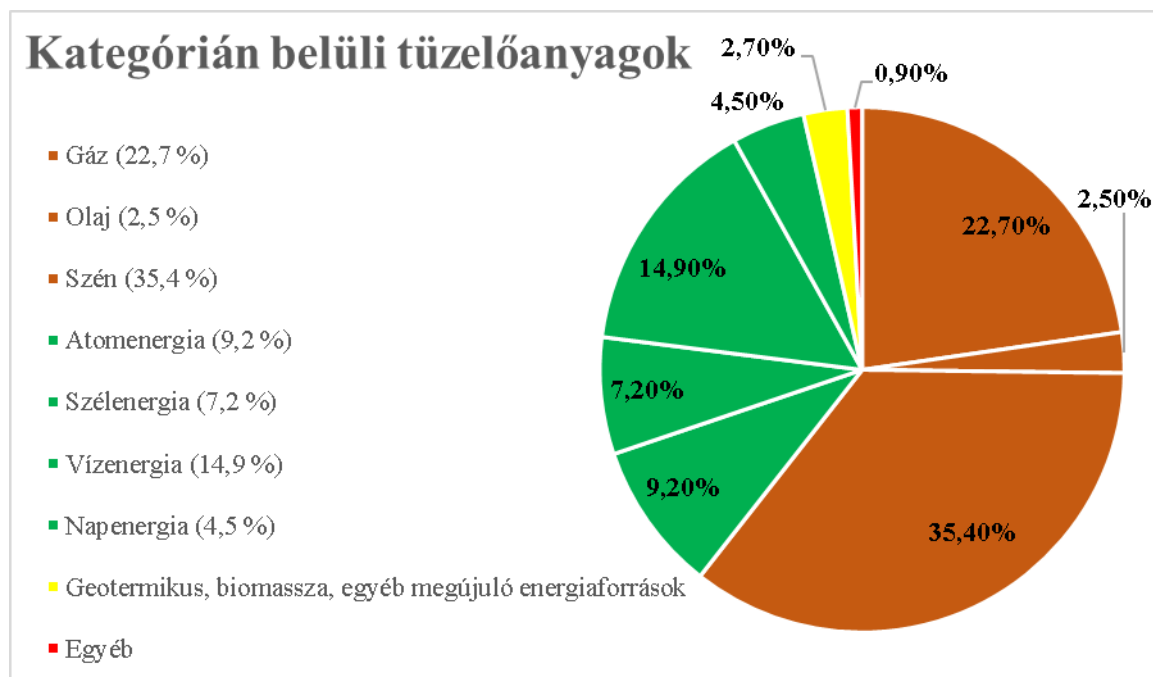
¹⁷ Energy Encyclopedia: Geothermal energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/geothermal-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)

vagy a savas eső kialakulása. Ráadásul a természetbe kikerülő mérgező anyagoknak további környezet és egészségkárosító hatásai vannak. Ezen okokból kifolyólag a fosszilis energiahordozók használatát lépésről lépésre redukálni kell. Helyette kevésbé ártalmas és tisztább megoldásokat kell alkalmazni, többek között a felsorolt megújuló energiaforrásokat vagy az atomenergiát.

Az Enerdata 2022-es adatai szerint 29031 terawattóra (TWh) volt a világon termelt villamosenergia. A következőkben két diagramot szeretnék bemutatni, melyek a világ villamosenergia-termelésének megoszlását szemléltetik 2022-ben. Elsőként a négy kategóriát tüntetem fel, majd a kategórián belüli eloszlást.



1. ábra: A világon termelt villamosenergia kategóriák szerint
Szerző saját készítésű ábrája (2023.08.04.)



2. ábra: A világon termelt villamosenergia kategórián belüli megoszlása

Szerző saját készítésű ábrája (2023.08.04.)

Forrás: https://www.worldenergydata.org/world-electricity-generation/#footnote_0_9196, (letöltés ideje: 2023.08.04.)

A statisztikákból is megállapítható, hogy a világon termelt villamosenergia mennyisége döntő többségben a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből fakad. Azt is megfigyelhetjük, hogy szimplán megújuló energiaforrásokkal lehetetlen lenne, az ekkora mennyiségű nem megújuló energiaforrások helyettesítése. A kitűzött cél eléréséhez, tehát elkerülhetetlen a sokak által veszélyei és hátrányai miatt ellenzett atomenergia alkalmazása.

Az atomenergia és a megújuló energia együttes használatára kell törekedni. A nukleáris energiatermelés egytől egyik nem váltható ki az alternatív energiaforrásokkal. A nukleáris energiatermelésre, mint a leghatékonyabb energiatermelési módra szükség van. Vannak benne rejlő kockázatok és veszélyek, amelyeket nem lehet elkerülni. E problémák leküzdésére, csökkentésére a nukleáris tudományban felhalmozott ismeretek megőrzése, bővítése, a nukleáris létesítmények biztonságos üzemeltetésére képes szakembergárda folyamatos képzése és fenntartása járul hozzá. Ezzel párhuzamosan szükséges a lakosság tájékoztatása és a gyermekek nevelése is.

18 19 20

¹⁸ Bartholy Judit, Breuer Hajnalka, Pieczka Ildikó, Pongrácz Rita, Radics Kornélia (2013): Megújuló energiaforrások, <http://dk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/12353>, (letöltés ideje: 2023.06.22.)

¹⁹ Enerdata: Electricity production, <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>, (letöltés ideje: 2023.08.04.)

²⁰ Homonnay Zoltán; Varga Kálmán: A nukleáris energiatermelés szerepe és perspektívái a világban és Magyarországon, [Pro Minoritate](#) 3-4.sz. (2007.) p.47-66., ISSN : 1216-9927

3. NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK

Az atomenergiáról szóló 1996.évi CXVI. törvény fogalommeghatározásában található, hogy mi minősül nukleáris létesítménynek. Annak tekinthetők:

- a dúsító, nukleáris üzemanyagot gyártó, újrafeldolgozó üzemek, atomerőművek, nukleáris üzemanyagot vizsgáló laboratóriumok, kutató és oktatóreaktorok, nukleáris kritikus és más neutronsokszorozást szolgáló rendszerek, friss nukleáris üzemanyagot tároló és kiegészítő üzemanyag átmeneti tárolására szolgáló létesítmények
- radioaktív hulladék-tároló létesítmények

Ezen felsorolás alapján tekintem át a hazai nukleáris létesítményeket.²¹

3.1 Nukleáris létesítmények Magyarországon

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet Oktatóreaktor (BME NTI OR)

Az oktatóreaktor rendeltetése a felsőoktatásban részt vevő hallgatók képzéséhez való hozzájárulás. 1971-ben kezdte meg működését. Kezdetleges teljesítménye 10 kW volt, később ezt 100 kW-ra emelték. Moderátora és hűtőközege egyaránt sóltalanított víz, reflektora víz és grafit. A reaktortartály 10 mm vastagságú alumíniumból készült hengeres kialakítású, felülről nyitott, medence elrendezésű. Az aktív zóna fűtőelemei szovjet EK-10 típusúak. A minták besugárzása az aktív zónában és a reflektorban lévő besugárzó csatornákon keresztül valósul meg. A biológiai sugárvédelem 2 részből tevődik össze. Egyfelől a lezárt állapotban lévő vízzel megtöltött sugárvédő betonon átmenő vízszintes csövekből, azaz a vízzárból. Másfelől a vaszárból, ami egy henger alakú a csatorna kinti részébe manuálisan helyezhető dugó. A reaktorhoz kapcsolódik 19 függőleges, 5 vízszintes besugárzó csatorna, 2 csőposta és egy nagyméretű befelé szűkülő besugárzó alagút is. Az alagútban történő kísérletekhez távműködtetésű síneken mozgatható kocsit vesznek igénybe. Az alagút főképpen termikus oszlopként (alumínium borítású grafit szerkezet) funkcionál, de egyéb kísérlet helyszínéül is helytáll. Az Oktatóreaktor volt Magyarországon az első teljes mértékben hazai elgondolású és kivitelezésű atomreaktor. Jó alapként szolgált, az évtizeddel később épülő Paksi Atomerőmű működéséhez, az addigra megszerzett tapasztalatok, illetve az átfogó tudással rendelkező szakemberek gárdájának kialakulása.²²

Energiatudományi Kutatóközpont Budapesti Kutatóreaktor (EK BKR)

²¹ 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600116.tv>, (letöltés ideje: 2023. 06.24.)

²² BME Nukleáris Technikai Intézet: Oktatóreaktor, <http://www.reak.bme.hu/oktatoreaktor.html>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)

A Budapesti Kutatóreaktor üzemeltetője az Energiatudományi Kutatóközpont, mely több területen tudományos kutató és fejlesztő munkát folytat. A Kutatóreaktor 1959 óta működik, KFKI területén, Csillebércen. Szovjet gyártmányú tartály típusú reaktor, a tartály anyaga alumínium ötvözet, moderátora és hűtőközege könnyűvíz. Teljes körű korszerűsítésen esett át két alkalommal is, melynek eredménye a reaktor teljesítménynövelése (2 MW-ról 10 MW-ra), valamint az üzemidő emelkedése (mintegy 3500 óra/év) volt. 1993. novemberében kapta meg az üzemeltetési engedélyt a rekonstrukció után, onnan számítva 30 év a reaktor tervezett üzemideje, tehát 2023-ig érvényes. Közben az üzemeltetési engedélyt több alkalommal is megújították (2003, 2013) időszakos biztonsági felülvizsgálat keretében, a jogszabályi kötelezettségnek eleget téve. Megemlíteném, hogy az idén lejáró üzemeltetési engedélyt meghosszabbító kérelem benyújtásra került, az EK jelentése szerint a BKR alkalmas arra, hogy további 10 évig megbízhatóan működjön. Több szempontból is indokolt lenne a kutatóreaktor üzemelése például a növekvő igények kielégítése vagy a több területen való hasznosulása miatt. A tudományos kutatások terén neutronforrást biztosít, a neutronokat különböző anyagok vizsgálatára használják fel. A reaktor adta lehetőségeket kiaknázzák, az egészségügyben és az iparban is, radioaktív izotópok előállításánál, szerkezeti anyag besugárzásánál, sőt anyagvizsgálatnál is. Az EK a több évnnyi tapasztalatával hatékonyan tud hozzájárulni a magyarországi atomenergetikát érintő legkülönbözőbb problémák megoldásában.^{23 24 25}

Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója (KKÁT)

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. (RHK Kft.) üzemelteti a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolóját. A tároló telephelye a Paksi Atomerőmű szomszédos területén helyezkedik el. Az atomerőmű kiégett fűtőelem kazettáit a pihentetési időszak (3-5 év) leteltével, a KKÁT-ba szállítják és ott 50 évig átmenetileg tárolják. A KKÁT egy olyan létesítmény, mely moduláris felépítésű, kamrarendszerű és a kiégett kazetták száraz tároláshoz járul hozzá. A működése során keletkező valamennyi kiégett kazetta átmeneti tárolására alkalmas, mivel a tárolókamrák modulrendszerben bővíthetőek. A kazetták szállítása a következőképpen zajlik, egyidejűleg 30 darab kazettát helyeznek egy vízzel megtöltött konténerbe, melyet vasúton szállítanak át, a konténer dekontaminálásáról is gondoskodnak.

²³ Energiatudományi Kutatóközpont: Budapesti Kutatóreaktor, <https://www.ek-cer.hu/budapesti-kutatoreaktor/>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)

²⁴ Sipos László József: 60 éves a Budapesti Kutatóreaktor, MAGYAR NUKLEÁRIS TÁRSASÁG, 2019. ápr. 08., <https://nuklearis.hu/60-eves-budapesti-kutatoreaktor>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)

²⁵ ORSZÁGOS ATOMENERGIA HIVATAL: Az Energiatudományi Kutatóközpont Budapesti Kutatóreaktor lejáró üzemeltetési engedélyét kiváltó új üzemeltetési engedély kiadásának kérelme tárgyában megindított eljárás, AZ ELJÁRÁS KÖZÉRTHEŰŐ ÖSSZEFOGLALÓJA, 2023., [https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/9D495C96632A617DC12589E1001D6E9B/\\$File/OAH%20el%20C3%A1r%C3%A1s%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3ja.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/9D495C96632A617DC12589E1001D6E9B/$File/OAH%20el%20C3%A1r%C3%A1s%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3ja.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.22)

A fogadóépületben a konténerből kiszedik a kazettákat, megszáritják, majd az átrakógép igénybevételével, egyesével légmentesen zárt acélcsövekben teszik őket. A tárolócsövek álló helyzetben sorakoznak a 2 méter vastag vasbetonfalakkal körülvett tárolókamrákban. Az említett kialakítás biztosítja, hogy a radioaktív sugárzás ne kerüljön ki. A létesítmény hűtési rendszere a levegő természetes levegőmozgásán alapul, a korrózióvédelem pedig, a tárolócsövekbe töltött nitrogénnel valósul meg. Emellett, úgy alakították ki, hogy árvíz és földrengés ellen is védett legyen.²⁶

Radioaktív hulladék-tárolók

Nemzeti Radioaktív hulladék-Tároló (NRHT)

A Nemzeti Radioaktív hulladék-Tároló Bataapátiban található, funkciója a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék elhelyezése. 2017-ig az NRHT-ban zajlott a hulladékcsomag elkészítése, azonban 2017-ben megtelt az I-K1 jelölésű tárolókamra. Ebből kifolyólag, napjainkban már az új koncepció szerint a Paksi Atomerőműben állítják össze a hulladékcsomagot, az NRHT ezt fogadja és elhelyezi az I-K2 nevű tárolóba. Pár szóban szeretném összefoglalni a régi, illetve az új elgondolást. A megtelt I-K1 tárolókamra esetén az atomerőműben a hulladékot 200 literes acélhordókba helyezték, összepréselték, lezárták, ellenőrizték, majd átszállították a radioaktív hulladék-tároló telephelyére. Bataapátiban a hordókat kilencesével vasbeton konténerbe rakták, a köztük lévő üres részt inaktív betonnal kitöltötték. A 16 tonnás hulladékcsomagot, úgynevezett monolitblokkot 7 napig pihentették, majd elszállították a tárolókamrába, ahol elhelyezték őket speciális targonca segítségével. Az I-K1 kamrába került végleges tárolásra 537 konténerben 4833 hordó. I-K2 kamrában másfajta elképzelés alapján kerülnek elhelyezésre a hulladékok. Először is kompakt hulladékcsomagokat gyártanak Pakson, a 200 literes fémhordókat négyesével helyezik el a vékonyfalú merevített acélkonténerben, a hordók közötti rést folyékony radioaktív hulladékból kevert cementpéppel öntik ki. Bataapátiba kész acélcsomagokat szállítanak, már csak a vasbeton medencébe kell őket behelyezni. Az új koncepció helytakarékoság szempontjából összevetve a régivel, sokkal jobb, nagyobb hangsúlyt fektettek arra, hogy minden szabad centit kitöltsenek radioaktív hulladékkal valamilyen formában. A hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló tárolókamrákat a felszín alatt 200-250 méter mélyen alakították ki. 2 párhuzamos lejtősaknát építettek ki 10%-os lejtéssel, 1,7 km hosszan, amelyeket 250 méterenként keresztvágatok kötik össze. Az alagútrendszer 6 km hosszú, 2 részből áll, egy ellenőrzött zónából a tárolókamrákkal, illetve az építési területből, ahol a tároló további bővítése történik. E két területet lezárt

²⁶ Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója, <https://rhk.hu/timeline/a-kiegett-kazettak-atmeneti-taroloja-kkat>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)

kerítéssel választják el egymástól. Bábaapátin már kialakításra került az I-K3, I-K4 tárolókamra is, jövőbeli projekt az utolsó 2 tárolókamra (N1, N2 jelölésű) megvalósítása.²⁷

Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló (RHFT)

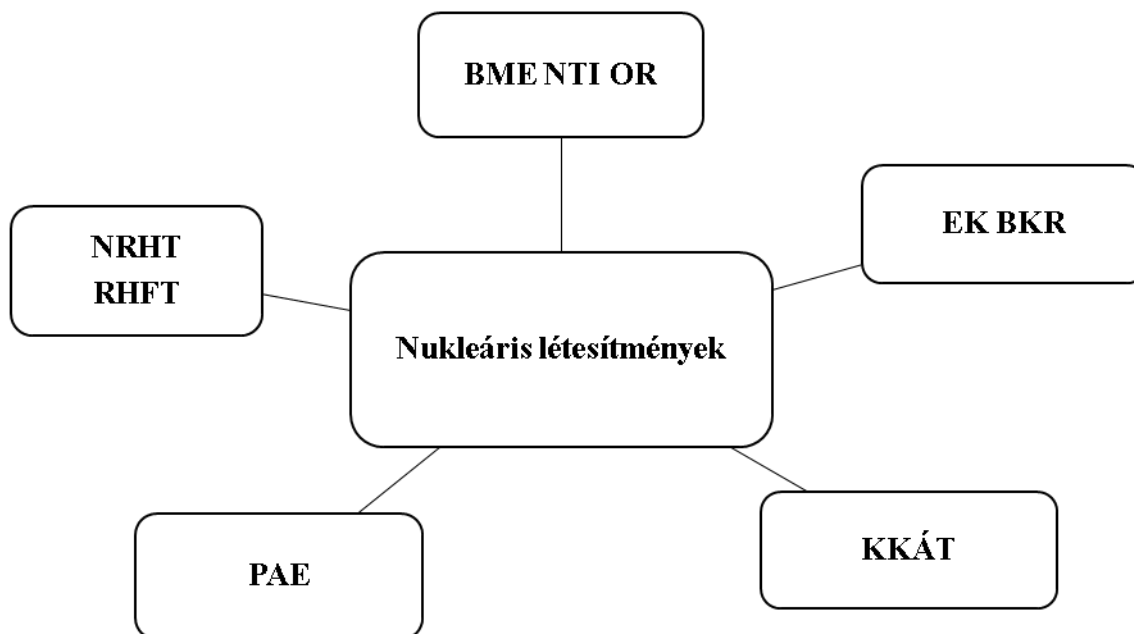
1976-ban helyezték üzembe Pöspökszilágyon, a Radioaktív Hulladék Feldolgozót és Tárolót. A telephely magasan, löszös, agyagos talajban lett kiépítve. Rendeltetése az intézményi eredetű hulladék kezelése és tárolása, például mezőgazdasági, ipari, egészségügyi, oktatási, kutatási felhasználás során keletkező hulladék. Atomerőműből származó kis és közepes aktivitású hulladékot nem fogad. A telephely sugárvédelmi szempontból 2 részre osztható a felügyelt és az ellenőrzött részre. Az ellenőrzött övezeten belül, kültéren helyezkedik el a felszínközeli vasbeton tárolómedence (A, B típusú), illetve a rozsdamentes acél csőkutak (B, D típusú tároló). Az ellenőrzött szektorhoz tartozó üzemi épületben zajlik a radioaktív hulladék fogadás, feldolgozás, míg a pincszinten a tárolótérben pedig az átmeneti tárolás. A kültéri hulladék tároló kapacitása 5040 m³, az átmenti tárolóé 300 m³. A telephelyre beérkező radioaktív hulladék fémhordókba van csomagolva, elsődlegesen a sugárkapun keresztül haladva ellenőrzik annak radioaktív tartalmát, majd az üzemi épületben lerakodják, egyedi azonosítóval látják el, majd az átmeneti tárolóba viszik, mert a végleges elhelyezés előtt még feldolgozáson esnek át. A feldolgozás első szakaszában szétválogatják a hulladékot, tulajdonságaik szerint, utána, ha indokolt további feldolgozási műveletet hajtanak végre, úgymint préselés, cement mátrixba helyezés vagy beágyazás. A szelektált hulladékot préssel tömörítik, majd szabványos hordókba csomagolják, jelölik, nyilvántartásba veszik és az „A” típusú medencékbe rakják. Az elhasznált, zárt sugárforrás speciális kezelést igénylő hulladék, amiket forrókamrába dolgozzák fel, majd rozsdamentes tárolótokokba teszik és hegesztéssel hermetikusan lezárják és a pincszinten lévő csőkutakba vagy „B”, „D” típusú csöves tárolókba helyezik. A létesítmény jelentős feladata az 1970-80-as évekbeli hulladékcsomagok medencéből való kitermelése, átválogatása, tömörítése és újracsomagolása a biztonságnövelő program keretében. Ugyanis hosszú felezési idejű izotópokat és radioaktív sugárforrásokat is elhelyeztek a tárolómedencékbe, ami bekerülhet a talajba, ezáltal az emberek ki lehetnek téve ezeknek az anyagoknak és a megengedettnél nagyobb dózist kaphatnak. A program első lépése 2006-2008

²⁷ Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Nemzeti Radioaktív Hulladék-Tároló, <https://rhk.hu/timeline/nemzeti-radioaktivhulladek-tarolo>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)

között zajlott és sikeresnek mondható, ugyanis 4 tárolómedencéből 220 m³ hulladékot válogattak át. 2017-ben megkezdődött a második ütem előkészítése is. ^{28 29}

Paksi Atomerőműre (PAE)

A Paksi Atomerőmű bemutatására a későbbiekben térek ki részletesen.



3. ábra: Nukleáris létesítmények sematikus ábrája
Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.22.)

(BME NTI OR: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet Oktatóreaktor, EK BKR: Energiatudományi Kutatóközpont Budapesti Kutatóreaktor, KKÁT: Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolója, PAE: Paksi Atomerőmű, NRHT: Nemzeti Radioaktív Hulladék-Tároló, RHFT: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló) ^{30 31}

²⁸ Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, <https://rhk.hu/timeline/radioaktiv-hulladek-feldolgozo-es-tarolo>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)

²⁹ Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló üzemeltetési engedély kérelme Közérthető összefoglaló, 2018, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/7A068936EB6F180DC12582AC002F7F6C/\\$File/RHFT_k%C3%B6z%C3%A9rthet%C5%91%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3_2018_RHK_V%C3%89GLEGES_2.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/7A068936EB6F180DC12582AC002F7F6C/$File/RHFT_k%C3%B6z%C3%A9rthet%C5%91%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3_2018_RHK_V%C3%89GLEGES_2.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.22.)

³⁰ Országos Atomenergia Hivatal: A MAGYARORSZÁGI NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK ÉS RADIOAKTÍVHULLADÉK-TÁROLÓK 2020. ÉVI HATÓSÁGI ÉRTÉKELÉSE, 2021. november, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/30694F1D776B40EFC12587EC003CD1FC/\\$FILE/2020.%20%C3%A9vi%20hat%C3%B3s%C3%A1gi%20%C3%A9rt%C3%A9kel%C3%A9s.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/30694F1D776B40EFC12587EC003CD1FC/$FILE/2020.%20%C3%A9vi%20hat%C3%B3s%C3%A1gi%20%C3%A9rt%C3%A9kel%C3%A9s.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.21.)

³¹ Sebestyén Zsolt, Laczkó Balázs, Ötvös Nándor, Petőfi Gábor, Tomka Péter: Nukleáris létesítményekre vonatkozó sugárvédelmi követelmények korszerűsítése, Országos Atomenergia Hivatal, Sugárvédelem X. évf. (2017) 1. szám. 1-43, https://www.elftsv.hu/svonline/docs/V10i1/Seb_V10i1.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02)

3.2. Atomreaktorokról általánosan

Az atomreaktorok szakmai szempontú rendszerezésére különféle szempontokat láthatunk.

A csoportosítás a következőképpen néz ki:

- Felhasznált hasadóanyag szerint
- Hasadóanyag dúsításának foka szerint
- A moderátor anyaga szerint
- Hűtőközeg szerint
- Energiatartomány szerint
- Felhasználás szerint

A dolgozatomban szempontjából a további csoportosítást a felhasználás módja szerint szeretném taglani. A felhasználási területet lehet energiatermelő, hasadóanyag termelő, kutató és oktatóreaktorok, továbbá nagy fluxusú, impulzus és kritikus rendszerek vagy zero teljesítményű reaktorok.

Továbbiakban az energiatermelő erőművi reaktorokra szeretnék rátérni. Elsőként az alapvető elveket szeretném megemlíteni, melyek nélkül az energiatermelés, nem valósulhatna meg biztonságos módon.

- Nukleáris láncreakció hatékony szabályozása (moderátor anyag/moderátor közeg, új hasadóanyag)
- Termelt energia és hő megfelelő elszállítása (reaktivitás szabályozás)
- Radioaktív anyagok kikerülésének megelőzése a sugárvédelmi fal kialakítással.

A nukleáris láncreakciót egy atomerőműben a stabil szinten tartás, a szabályozott működés és a haladéktalan leállítás jellemzi. A folyamat kiváltásához szükségünk van egy olyan izotópra, melyből egy neutron befogása hatására egynél több neutron jön létre. A 235-ös tömegszámú uránizotóp az egyetlen természetesen fellelhető izotóp földünkön, ami neutron hatására képes elhasadni és új neutront létrehozni. További 3 izotóp állítható elő és használható fel az atomreaktorokban neutronbefogással, az urán 238-as izotópjából, plutónium 239-es és 241-es izotóp, illetve a tórium 232-es izotópjából az urán 233-as izotóppá alakul át. Az 1939-ben felfedezett maghasadást és annak folyamatát a napjainkban működő atomerőművekben energiatermelésre használják fel. A láncreakció fenntartásához egy neutronra van szükség, viszont maghasadás során 2,5 neutron keletkezik. A megmaradt neutronokkal tudjuk szabályozni a láncreakciót, ugyanis azok elnyelése csökkenti a hasadások számát. A reaktor kritikus állapotának nevezzük, amikor a reaktor teljesítményét úgy szabályozzuk, hogy neutronelnyelő anyagokat, pontosabban a szabályozó rudakat betoljuk vagy kihúzzuk a

reaktorból, ezáltal a neutronok arányát és hasadások számát csökkentjük vagy növeljük. Ismert neutronelnyelő anyag a bór 10-es számú izotópja, a kadmium, a gadolínium, a diszprózium, valamint az erbium. A neutronelnyelő közegek használata azonban nem elegendő a maghasadási reakciók megvalósításához és fenntartásához, más megoldásokat is alkalmazni kell. Szemléltetném e két lehetőséget, az egyik a moderátorok, neutronlassító anyagok igénybevétele, a másik pedig az új hasadóanyagok előállítása. A neutronlassító anyagok lelassítják a gyors neutronokat. A neutron a moderátoranyag atommagjával ütközik és lelassul, ezáltal termikus neutronok keletkeznek, melyek várhatóan újabb hasadást idéznek elő. Moderátor anyag közé sorolható a könnyűvíz, a nehézvíz és a grafit. Az új hasadóanyag előállításnál az urán 235-ös izotópját jelentősebb mértékben dúsítják és halmozzák föl a reaktorban. Az urán 238-as neutronelnyelésből új hasadóanyag (plutónium) keletkezik, ezt a folyamatot tenyésztésnek nevezik, valamint ezt a típusú reaktort gyorsreaktornak tituláljuk. Energiatermelő erőművi reaktorok nagy mennyiségű hasadási energiát vesznek igénybe az elektromos áram termelésére. A termikus reaktorok típusai is ide tartoznak, különbséget bennük a felhasznált moderátoranyag szerint teszünk.

Termikus reaktorokban a láncreakciót a moderátorok segítségével lelassított neutronok (termikus neutronok) tartják fent. Mint már említettem, moderátorként (lassítóként) három anyagot használnak. Könnyűvizet (H_2O), nehézvizet (D_2O), grafitot (C). A maghasadás folyamata sok hőt termel, amelyet el kell távolítani az aktív zónából. Szilárd moderátoros reaktor tekintetében a hűtőközeg lehet gáz (CO_2 , He) vagy víz, míg folyékony moderátor (H_2O , D_2O) alkalmazásakor maga a moderátor vagy egy önálló hűtővíz szerkezet a hűtőközeg. Üzemanyagként enyhén dúsított vagy természetes izotóp összetételű urán-dioxidot (UO_2) használnak a termikus reaktorokban.

Folyadék moderátorú reaktorokon belül a könnyűvizes reaktor (Light Water Reactor) a legelterjedtebb. A könnyűvizet használják moderátor és hűtőközegként is. Előnyös tulajdonságai közé tartozik, hogy a láncreakció magától képes leállni, a következő módon: túlhevüléskor könnyűvíz forrni kezd, emiatt a reaktor moderátort veszít, aminek következtében a neutronok nem lassulnak le eléggé, hanem az uránban maghasadás nélkül befogódnak.

A könnyűvizes reaktor további két csoportja lehet bontani, nyomott vizes (Pressurized Water Reactor) és forraló vizes (Boiling Water Reactor).

A nyomott vizes reaktorok jellemzői, hogy könnyűvizet vesznek igénybe moderátor és hűtőközegként egyaránt, üzemanyaguk alacsony dúsítású urán, illetve kétkörösek. Primer és szekunder körből állnak, a reaktorban egymástól elkülönített, zárt rendszerben kering a víz. Ennek köszönhető, hogyha a hűtőközegbe radioaktív anyag kerül, az az elsődleges rendszerből

nem juthat ki, sem a másodlagosba, sem a környezetbe. A működése a következőképpen alakul, a primer köri magas nyomáson tartott víz a hőjét, a gőzfejlesztőkön keresztül adja át szekunder körü víznek, ahol az elforr és a turbinák meghajtásához szükséges gőz keletkezik.

A forralóvízes reaktorok a fent említett típussal ellentétben egykörösek. A hűtőközegként használt könnyűvíz áthalad az aktív zónán, néhány százaléka elforr, amit leválasztanak és a telített gőzt egyenesen a turbinába vezetik. A típus negatívuma az egykörös kialakítás révén, hogy a hűtőközegbe kerülő minimális radioaktív anyag kikerül a turbinára is.

A nehézvízes reaktorból egyetlen típus van jelen, a kanadai fejlesztésű CANDU (CANadian Deuterium Uranium). A reaktor hűtőközege könnyűvíz, moderátora nehézvíz, üzemanyaga természetes vagy enyhén dúsított urán, ugyanis a nehézvíz nem nyeli el a neutronokat. A reaktorfajta előnye a könnyűvízzel szemben, hogy folyamatosan igénybe lehet venni. Az üzemanyag nem egy tartályban, hanem nyomásálló csövekben helyezkedik el, melyek felnyithatóak, ezért leállítás nélkül is fel lehet tölteni új üzemanyaggal.

TERMIKUS REAKTOROK			
Folyadék moderátorú reaktor		Szilárd moderátorú reaktor	
Könnyűvízes reaktor LWR	Nyomott vizes PWR		
	Forraló vizes BWR	Grafít moderátoros	Gázhűtésű reaktor GCR
Nehézvízes reaktor	CANDU CANadian Deuterium Uranium nyomott nehézvízes		Könnyűvízhűtésű reaktor RBMK

4. ábra: Termikus reaktorok típusai
Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.07.)

Térjünk át a szilárd moderátorú reaktorokra, moderátorként grafitot, hűtőközegként széndioxidot, héliumot vagy könnyűvizet használnak. A gázhűtéses reaktor (Gas-cooled Reactor) használata háttérbe szorult. A vízűtéses reaktor a szovjetek által fejlesztett RBMK (Reaktor Bolsoj Mozsnoztj Kipjascsi, nagyteljesítményű forralóvízes reaktor) típus. Háttérje, hogy láncreakció megszáladásakor nincs önleállító képessége. Túlhevülés esetén a neutronelnyelő

hűtővíz elforrhat, ellenben a grafit moderátor visszamarad, tehát a láncreakció tovább folytatódhat, ami a reaktor megszaladásához vezethet. Pozitívumként említendő, hogy ^{235}U -nal is működtethető, de enyhén dúsított uránnal költséghatékonyabban.

A gyorsreaktorok ismertetőjegye, hogy nincs moderátoruk, ami lelassítaná a neutronokat, így gyors neutronok tartják fenn a láncreakciót. Működésükhöz dúsított urán vagy plutónium szükséges, melyet kiegészített nukleáris üzemanyagokból vagy leszerelt atomtöltetektől erednek. Hűtőközegnek folyékony fémeket például nátriumot, ólmot vagy héliumot használnak, ugyanis ezek intenzív hőelvezetést nyújtanak és egyben nem lassítják a neutronokat. Kettős funkcióval rendelkeznek, ugyanis villamos energiát és hasadóanyagot is termelnek, pont ezért tenyésztőreaktornak is nevezzük őket.

A tenyésztőreaktorok egyelőre még nem sokat nyomnak a latban az energiaellátás terén. Viszont egyre nagyobb potenciál van bennük, ugyanis el tudjuk velük érni, hogy a termelődő hasadóanyagok arány nagyobb legyen, mint az elhasználtaké. Erre szükségünk is lesz a nukleáris energia fenntarthatóságának megőrzése céljából, mert az urán nem megújuló energiaforrás, a 235-ös izotópja pedig már csak néhány évtizedre elegendő. Korábbiakban már említettem, hogy a nukleáris láncreakció fenntartására az urán, a plutónium és a 232-es tórium izotóp alkalmas.

Fúziós reaktorok évtizedek múlva megoldását jelentenek majd az emberiség növekvő energiaigényére. Működési elve az alábbiak szerint valósul meg. A trícium és deutérium elegy, melyet a tórusz alakú reaktorba vezetünk be, felhevítik és a keletkező ionokat mágneses térrel körpályára kényszerítik, ahol a reakció révén hélium és neutron keletkezik, ezenfelül plazmaállapotot érünk el. A reaktor fala bórral ötvöztött acél, meggátolja a keletkező anyagok környezetbe kerülését. A turbina meghajtása a reaktor falának vízzel való hűtéséből keletkező gőzzel történik.

32 33 34 35

³² Congressional Research Service: Advanced Nuclear Reactors: Technology Overview and Current Issues, February 17, 2023, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45706>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

³³ Radnóti Katalin– Király Márton: Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük. Nukleon, VIII. évf. (2015) 177, https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/8_1_177_Radnoti_0.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.22.)

³⁴ Barina Balázs: Atomerőművek fejlődése a generációváltások tükrében, Hadmérnök 17. évfolyam (2022) 2.szám 99–112., <https://doi.org/10.32567/hm.2022.2.7>, <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/hadmernok/article/view/5845/5048>, (letöltés ideje: 2023.06.20.)

³⁵ ANTAL Zoltán; KÁTAI-URBÁN Lajos; VASS Gyula: ATOMERŐMŰ GENERÁCIÓK FEJLŐDÉSÉNEK VONZATAI, Hadmérnök, XIII. Évfolyam 3. szám – 2018. szeptember, http://www.hadmernok.hu/183_11_antal.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02.)

3.3 Atomerőművek generációi

Említésre méltóak az atomerőművek generációi is (I.-IV.), ugyanis az évek múlásával az alkalmazott technológia fejlődött, így a kezdeti I. generációba tartozó reaktoroknál a jelenleg fejlesztés alatt álló IV. generációsok sokkal, nagyobb biztonsággal szolgálják ki a társadalmat.

Első generációs atomerőművek

A II. világháború után az atomenergia békés célú felhasználását szorgalmazták. Az 1950-es években kezdték meg működésüket az első generációba tartozó kezdetleges reaktor prototípusok. Üzemeltetési céljuk nem teljes mértékben a villamos energiatermelés volt. 1954-ben kapcsolták hálózatra az első atomerőművet az oroszországi Obnyinszkban. Típusát tekintve egy grafit moderátoros, vízhűtésű, egy reaktorblokkos erőmű volt. Ezen a típusok építésénél a biztonsági óvintézkedéseket csekély mértékben vették figyelembe.

Második generációs atomerőművek

A második generációs erőműveket már kizárólag polgári felhasználásra tervezték. Nagy előrelépést jelentettek, nemcsak biztonsági, hanem környezetvédelmi szempontból is nagyobb hangsúlyt fektettek rájuk. Napjainkban működő atomreaktorok az 1970-es évek és 2000-es évek között épültek, tervezett élettartamuk 40 év, mely hamarosan lejár, közülük némelyik már üzemidő-hosszabbításon esett át vagy az előtte áll. A Nukleáris Világszövetség (World Nuclear Association) 2023 májusi adatai szerint a világon 436 üzemképes reaktor működik nagyrésztük II. generációs. Érdekességképpen megjegyezném, hogy az Egyesült Államoknak van a legtöbb atomreaktora, pontosan 93 darab. A szigorodó szabályoknak megfelelően kulcsfontosságú biztonsági fejlesztéseken estek át a reaktorok, közülük a legkiemelkedőbb a biztonságnövelő átalakítás a konténment rendszer vagy hermetikus tér kialakítás, jobban mondva egy nyomásálló rendszer, amely képes súlyos üzemzavar esetén megakadályozni a radioaktív anyagok szabadba kerülését. Ezenfelül még passzív és aktív biztonsági rendszerekkel is bővült. A Paksi atomerőmű négy reaktora is a második generációba sorolható és az imént említett biztonsági funkciókkal rendelkezik, példaként említeném az erőmű konténmentjét, ami egy vasbeton dobozszerkezet.

Harmadik vagy harmadik + generációs atomerőművek

A harmadik vagy harmadik + generációnak nevezzük a jelenleg vagy a közeljövőben épülő atomerőműveket. Lényegében a II. generációs reaktorok továbbfejlesztett, tökéletesített változatai. Szokás őket evolúciós reaktoroknak is nevezni. Változás figyelhető meg gazdaságosság vonatkozásában, szemléltetésül: a szabványos tervezés hozzájárul a tőke költség és az építési idő csökkenéséhez. További fejlesztések történtek a moduláris felépítés, az üzemanyag-technológia és a termikus határfok terén. Az informatika és a technológia

előrehaladásának, illetve a bekövetkezett atomerőművi balesetekből levont tanulságoknak köszönhetően a reaktorok számos biztonsági funkcióval bővültek, amelyek nagyfokú biztonságot és egyszerűbb kezelhetőséget biztosítanak. A passzív rendszerek fejlődése hozzájárult a balesetek következményeinek csökkentéséhez, aktív vezérlés, külső energia vagy kezelői beavatkozás nélkül, mindösszesen a gravitációra vagy a természetes hőáramlásra hagyatkozva. A harmadik generáció magasabb rendelkezésre állást és hosszabb élettartamot biztosít, immáron hatvan évet.

Negyedik generációs atomerőművek

Negyedik generációs vagy más néven innovációs reaktorok a fejlesztés fázisában vannak. Olyan áttörő fejlesztéseket és megoldásokat ígérnek, melyek mind a biztonság, mind a jövedelmezőség szempontjából új fejezetet nyit az atomerőművek működésében. Fokozatos javulás a versenyképesség, biztonság és megbízhatóság terén, áttörést hozó koncepciók a hulladékok minimalizálása, az erőforrások megőrzése, a non-prolifерáció megakadályozása és az üzemanyagcellák érzékenységeinek kezelésére.

III., III + generációs	IV. generációs	
EPR (European Pressurized Reactor)	<u>Termikus reaktorok</u>	<u>Gyorsreaktorok</u>
AES2006 (VVER 1200)	Nagyon nagy hőmérsékletű reaktor (VHTR)	Gázhűtéses gyors reaktor (GFR)
AP-1000 Westinghouse	Szuperkritikus vízhűtéses reaktor (SCWR)	Nátriumhűtéses gyors reaktor (SFR)
	Olvadéksó reaktor (MSR)	Ólomhűtéses gyors reaktor (LFR)

5. ábra: 3. generációs kifejlesztett és 4. generációs fejlesztés alatt álló reaktor típusok
Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.08.)

³⁶ Barina Balázs József: MAGYARORSZÁGI NUKLEÁRIS REAKTOROK KATASZTRÓFAVÉDELMI SZEMPONTÚ BEMUTATÁSA, Védelem Tudomány – VII. évfolyam, 4. szám, 2022. 10. hó, <http://real.mtak.hu/156898/1/06-barina.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.20.)

³⁷ Ayush Kumar A, Godwin Glivin, N. Kalaiselvan and V. Mariappan: Nuclear Reactors, their Types and Impact on Safety, Environment and Sustainability towards a Green Future, Energy Research Journal 2020 Volume 11: 22-27, DOI: 10.3844/erjsp.2020.22.27, <https://thescipub.com/pdf/erjsp.2020.22.27.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

³⁸ Gérard Cognet: The different generations of nuclear reactors From Generation-1 to Generation-4, Kočovce (Slovakia) – September 2010, https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/44/078/44078364.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

³⁹ Pór Gábor: Atomenergetikai alapismeretek, Budapest, Edutus Főiskola, 2012., <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/11911> (letöltés ideje: 2023.06.22.)

⁴⁰ Hanusovszky Livia: Atomreaktorok, http://atomfizika.elte.hu/magreszfiz/hanusovszkylivia_atomreaktorok.pdf (letöltés ideje: 2023.07.15.)

⁴¹ Stephen M. G.: Robert R.: Nuclear reactors: generation to generation – American academy of arts and sciences, Cambridge, 2011. ISBN#: 0-87724-090-6, <https://www.amacad.org/sites/default/files/academy/pdfs/nuclearReactors.pdf> (letöltés ideje: 2023.07.07)

⁴² World Nuclear Association: Nuclear Power Reactors, May 2023, [Nuclear Power Today | Nuclear Energy - World Nuclear Association \(world-nuclear.org\)](https://www.world-nuclear.org) (letöltés ideje: 2023.07.08.)

⁴³ Nuclear Energy Institute: World Nuclear Power Plants in Operation, <https://www.nei.org/resources/statistics/world-nuclear-power-plants-in-operation>, (letöltés ideje: 2023.07.08.)

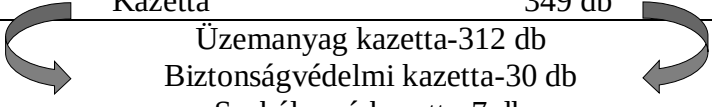
4. PAKSI ATOMERŐMŰ BEMUTATÁSA

Hazánkban működő egyetlen atomerőmű Tolna vármegyében Paks közelében található a Duna part mentén. Üzemeltetője az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 1966 nyarán döntöttek az atomerőmű létesítéséről Magyarországon, melynek megépülését 1975-re tervezték. Végül 1982. decemberében kapcsolódott a villamos hálózatra az I. reaktor, 1984-ben a II., majd 1986-ban a III., 1 évre rá, 1987-ben a IV. és egyben az utolsó blokk is üzembe állt. Az atomerőművet a második generációs, nyomott vizes reaktorok (PWR) csoportjába tartozó, VVER-440/213 típusú reaktor közé sorolhatjuk. A reaktorok moderátora és hűtőközege egyaránt könnyűvíz. A négy reaktorblokk, primer és szekunder zárt körből állnak. Az eredeti hőteljesítmény 1375 MW/blokk, a villamos teljesítménye pedig 440 MW/blokk volt. A 2006-2009 között teljesítménynövelő programot hajtottak végre, a hőteljesítményt 1485 MW-ra, a villamos teljesítményt pedig 500 MW-ra emelték.

42 tonnányi üzemanyagként használt urán-dioxidot, (mely U 238 és U 235 izotópokból épül fel), helyeznek el a reaktorban. UO_2 -ból 9 mm x 7,6 mm-es henger alakú pasztillákat készítenek. A radioaktív hasadványok vízbe kerülésének megakadályozására egy burkolatot alakítanak ki, az alábbi módon: pasztillákat egy cirkónium ötvözetből gyártott csőbe helyezik bele, majd feltöltik héliummal és hermetikusan lezárják. Az urán-dioxid pasztilla és a körülvevő burkolat együttesen alkotja a fűtőelem pálcát. A fűtőelemeket kötegekbe helyesebben mondva, kazettákba foglalják. A kazetták hatszög kialakításúak, 126 fűtőelem befogadására képesek, illetve egy kazettában csak azonos dúsítású (3,6-4,2%) fűtőelemek vannak. A kazetták lapátvolsága 14,4 cm. Az aktív zónában (reaktortartály része, ahol a láncreakció zajlik) 349 kazetta található, ebből 312 üzemanyag-kazetta, 37 szabályozó és biztonságvédelmi kazetta. A láncreakció szabályozására bóracélból készült szabályozó rudakat használnak, melyek az aktív zóna fölött helyezkednek el. A 30 darab biztonságvédelmi kazetta található normál üzemben folyamatosan kihúzott állapotban az aktív zóna fölött. Ezek segítségével minden esetben 10-12 másodperc alatt biztonságosan leállítható a reaktor. A további 7 szabályozó kazetta elsődleges feladata az üzem közbeni teljesítmény szabályozása, de emellett biztonságvédelmi szerepet is betöltenek. Az összes szabályozó és biztonságvédelmi rúd alsó részéhez egy fűtőelem kazettát csatlakoztatnak, ezáltal kihúzott állapotban az abszorbensek helyén is üzemanyag található.

Az elhasználadott fűtőelemeket három évig a reaktor közelében található pihentető medencébe helyezik. Itt nem jelenthet veszélyt a környezetre, egyrészt azért, mert már nem zajlik nukleáris láncreakció bennük, csak remanens hő fejlődik a radioaktív bomlás útján, másrészt a vízben elnyelődik a sugárzás és a kazetták hűtése is biztosított. A tárolási idő leteltével a Kiegett

Kazetták Átmeneti Tárolójába kerülnek át, ahol ötven évig tárolhatóak. Az üzemanyag kazetták végső elhelyezést a majdani nagyaktivitású tároló megépülése jelenti.

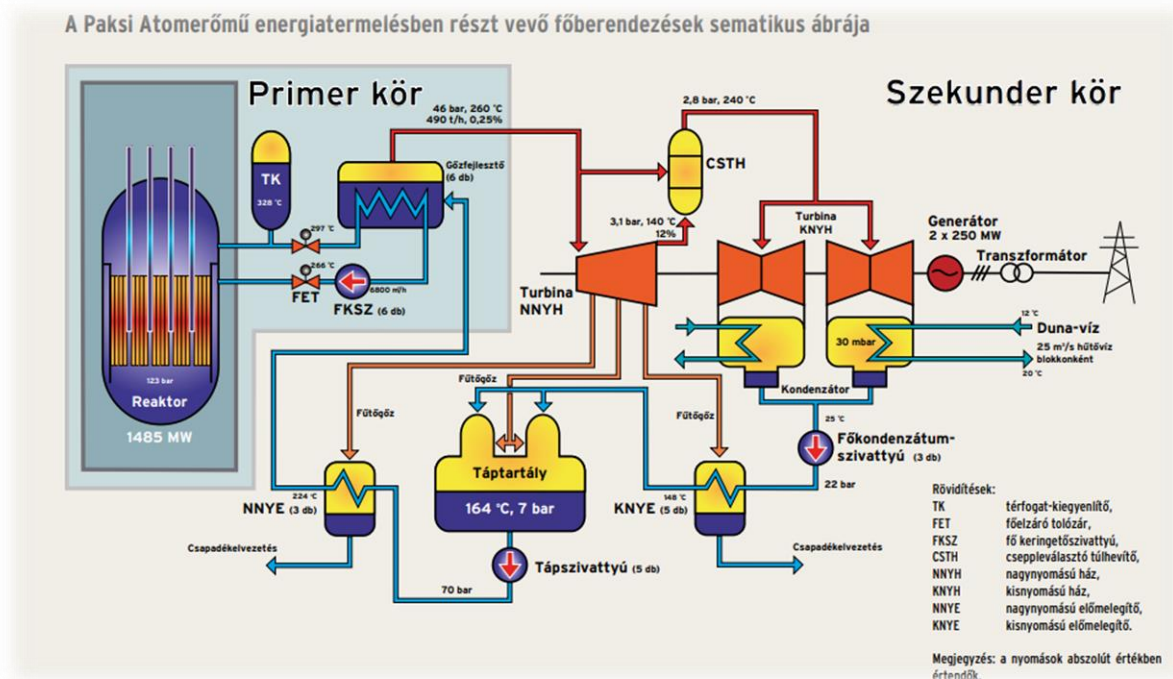
VVER 440/213 típusú reaktor néhány paramétere	
Villamos teljesítmény	500 MW
Elektromos összteljesítmény	2026,6 MW
Hőteljesítmény	1485 MW
Üzemanyag	UO ₂ (dúsított: 3,82%)
Üzemanyag tömege	42 t
Fűtőelem	126 db
Kazetta	349 db
	
Üzemanyag kazetta-312 db	
Biztonságvédelmi kazetta-30 db	
Szabályozó kazetta-7 db	

6. ábra: VVER 440/213 PARAMÉTEREI
Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.18.)

A primerkör az atomreaktorból, a keringetőhurkokból és szivattyúkból, a gőzfejlesztők hőátadó csöveiből és a térfogat-kompenzátorból álló rendszer. Kulcsfontosságú feladata a nukleáris alapú gőztermelés, az előre tervezett nyomás és hőmérséklet fenntartása, valamint a hőhordozó környezetbe jutásának megakadályozása. Rendeltetése, hogy a nagy nyomás fenntartásával megakadályozza, hogy a hűtőközeg felforrjon. Nyomás értéke a primer körben 123 bar. Ezen érték megtartásához térfogat-kompenzátor és 4 darab hidroakkumulátor járul hozzá blokkonként. A térfogat-kompenzátor egy álló helyzetben lévő tartály, mely összeköttetésben van a hűtőkör meleg (alul) és hideg (felül) ágával. A tartály tetejében nitrogénpárna található, alatta pedig telített állapotú víz (325 °C-os).

A szekunderkör magába foglalja a gőzfejlesztő tápvízoldali részét, a főgőzrendszert, a turbina nagy-és kisnyomású elemeit, a kondenzátort és a tápvízrendszert. Legfőbb célja, hogy a gőz energiáját forgómozgássá alakítsa át, ami pedig szavatolja a turbinák és generátor meghajtását. A reaktor által előállított 1485 MW hőenergiát a gőzfejlesztőkbe a zárt rendszerben keringő víz szállítja el. A primer körű víz szekunder körű gőzt produkál a gőzfejlesztőkben. Részletezném, hogyan is történik ez, a gőzfejlesztőkben lévő 222 °C-os, 46 bar nyomáson lévő tápvizet a csövekben cirkuláló primer körű 297 °C-os víz, 260 °C-ra melegíti. A képződő gőzből a cseppleválasztók segítségével le kell választani a vízcseppeket, a turbinalapátok épségének megőrzése érdekében. A kilépő gőz nedvességtartalmát 0,25% alá redukálják, egy terelőlemez segítségével, melyen áthaladva a cseppek lecsapódnak. A megtermelt gőz mennyisége 2940 tonna óránként, mely percnként háromszáz fordulatot járta a turbinát. A Paksi Atomerőműben 8 darab turbina és generátor van. A turbinákban egy tengelyen helyezkedik el az 1 nagynyomású (7 fokozatú) és a 2 kisnyomású ház (5-5 fokozatú), illetve a generátor

forgórésze. 15 750 V feszültségű elektromos áramot termel, a turbina által létrehozott forgó mozgás a generátorok segítségével. A villamos energiát a transzformátorokon keresztül juttatják az országos hálózatba 120 és 400 kV-on. Az elhasznált gőzt a Duna hűtőhatását kihasználva újra vízzé alakítják. A Dunából 100 m³/sec emelik ki a vizet, mely 8 °C-kal melegebben tér vissza a folyóba.



7. ábra: A Paksi Atomerőmű energiatermelésben részt vevő főberendezések sematikus ábrája

Forrás:

[https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5B44C9B8EBED8959C1257E5B0032BFAC/\\$File/PAZrt_ossze_foglalo_C15.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5B44C9B8EBED8959C1257E5B0032BFAC/$File/PAZrt_ossze_foglalo_C15.pdf) (letöltés ideje: 2023.07.18.)

44 45 46

⁴⁴ Országos Atomenergetikai Hivatal: MAGYARORSZÁG MÁSODIK NEMZETI JELENTÉSE a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági közösségi keretrendszerének létrehozásáról szóló 2009/71/Euratom irányelv módosításáról szóló 2014/87/Euratom tanácsi irányelv végrehajtásáról, 2020. július, https://energy.ec.europa.eu/system/files/2021-03/13_hu_2nd_2020_report_a-nsd_0.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.23.)

⁴⁵ PÁTZAY GYÖRGY: ATOMENERGETIKA ÉS NUKLEÁRIS TECHNOLÓGIA, 2011, ISBN 978-963-279-468-6, https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/60/02/dd/1/Atomenergetika_animaciok_nelkul.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.23.)

⁴⁶ MVM Paksi Atomerőmű: Hogyan működik? <https://atomeromu.mvm.hu/hu-HU/Tudastar/HogyanMukodik>, (letöltés ideje: 2023. 07. 19.)

4.1. Jogszabályi háttér, felügyeleti szerv

Magyarországon az atomenergia alkalmazása szigorú jogszabályi keretek között és hatósági felügyelet mellett történik. A legfőbb szabályozó az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (Atomtörvény). A törvény hatálya kiterjed az atomenergia békés célú felhasználására, a hozzá kapcsolódó jogokra és kötelezettségekre, illetve az ember, az élő és élettelen környezet természetes és mesterséges eredetű ionizáló sugárzás ártó hatásaitól szembeni védelmére. Az Atomtörvény rögzíti, hogy Magyarország nemzetközi szerződéseken alapuló együttműködéssel járul hozzá az atomenergia békés és biztonságos célú felhasználásához. Az Atomtörvény alapelvei deklarálják, hogy az atomenergiát, csak olyan módon lehet alkalmazni, hogy az ne veszélyeztesse az emberi életet, egészséget, a környezetet és az anyagi javakat, valamint a társadalmilag elfogadható kockázati szinten belül maradjon. Az atomenergia használata során az elsődleges és leglényegesebb kitétel a biztonság, emellett garantálni kell, hogy ne tudjon létrejönni ellenőrizetlen és szabályozatlan nukleáris láncreakció. A törvény végrehajtását számtalan kormány és miniszteri rendelet biztosítja, ezek felülvizsgálaton és korszerűsítésen esnek át rendszeres időközönként, a technika és tudomány legfrissebb eredményei és a nemzetközi tapasztalatcserék útján. A Paksi Atomerőmű működését, felelősségét, feladatait az atomtörvény mellett a környezetvédelmi törvény, illetve a villamosenergia törvény és a hozzájuk tartozó kormányrendeletek is szabályozzák.

Úgy gondolom lényeges szabályozó a 1/2022 (IV.29.) OAH rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről. A rendelet hatálya kiterjed Magyarország területén létesülő vagy már üzemelő nukleáris létesítményekre, annak rendszereire és rendszerelemeire, a hozzá kapcsolódó tevékenységekre és a tevékenységet ellátókra. Fejezetiben kitér a nukleáris biztonsági szabályzatokra, a nukleáris létesítményekre vonatkozó együttes követelményekre, a hatósági felügyeletre, az engedélyes kötelességeire, különböző biztonságot növelő intézkedésekre és az esetleges üzemzavarokra, balesetekre való felkészülésre.

Hazánkban az atomenergia-felügyeleti szerve a függetlenül működő Országos Atomenergia Hivatal (OAH), ugyanakkor a Kormány feladata az atomtörvényben foglaltak betartásának figyelemmel kísérése, amiben közreműködik az OAH, az érintett miniszterek és szakhatóságok. Az Országos Atomenergia Hivatal küldetése, hogy egy hozzáértő és célravezető intézményként működjön, a jogszabályok, az országgyűlés és kormány nyújtotta keretek között. Az OAH feladata ellátni az atomenergia kizárólag békés céllal történő felhasználását, a nukleáris létesítményekben, radioaktív hulladék-tárolókban, valamint a nukleáris és radioaktív anyagok szállításához használatos konténerek biztonságával és sugárvédelmével összefüggő hatósági

feladatokat. A hivatal általános építésügyi hatósági és építésfelügyeleti jogkörrel is fel van ruházva, ráadásul újonnan létesülő nukleáris létesítmény esetén a teljes létesítési folyamatot felügyeli. Hatósági tevékenysége kiterjed az engedélyezésre, ellenőrzésre, elemzésre és értékelésre. A Hivatalnak éves jelentési kötelezettsége van a Kormány és az Országgyűlés felé, az atomenergia honos alkalmazásának biztonságáról, az újonnan létesülő nukleáris létesítményekről, radioaktív hulladék-tárolókról, atomerőművet érintő bővítéssel összefüggő előkészítő tevékenységről. Sokrétű munkáját segíti a 12 fős kiváló szakemberekből álló Tudományos Tanács. Az OAH a törvényi kötelezettsége mellett szívügyének tartja az emberek precíz és hiteles tájékoztatását a munkásságával kapcsolatos ügyekben.

Külön szeretném taglalni az országhatáron túlnyúló feladatait, ami főként a nemzetközi, kormányközi, fórumjellegű szervezetekkel végzett kooperációra terjed ki az atomenergia alkalmazásával kapcsolatban. A többoldalú kapcsolatok típusait táblázatba foglalva szeretném szemléltetni. Az ENSZ kormányközi szervezete a bécsi székhelyű NAÜ, melynek tagjai 1957 óta vagyunk. A szervezet szintén az atomenergia békés és biztonságos felhasználását segíti elő, valamint meggátolja a nukleáris fegyverek elterjedését. Az OECD NEA célja az együttműködés, kommunikáció előmozdítása a tagországok között. Hazánk 1996 óta tagja a fent említett félig önálló kormányközi szervezetnek. A fórumjellegű szervezetek lényege a nukleáris kérdésekben folytatott aktív kommunikáció, melyből az OAH munkatársai is kiveszik a részüket. A pontokba szedett két nemzetközi szerződés vonzata, hogy 3 évenként nemzeti jelentést kell készíteni. Egyrészt a Nukleáris Biztonsági Egyezmény esetében arról, hogy a biztonságot a nemzetközileg jóváhagyott szinten vagy afelett tartják. Másrészt a Közös Egyezményben pedig a kiegészítő fűtőelemek és radioaktív hulladékok mennyiségéről, illetőleg a kezelésükkel összefüggő tapasztalatokról.

	Többoldalú kapcsolatok
Nemzetközi szervezetek	○ Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) ○ OECD Nukleáris Energia Ügynökség (OECD NEA)
Nemzetközi fórumjellegű szervezetek	○ Nyugat-európai Nukleáris Hatóságok Szervezete (WENRA) ○ Európai Biztosítéki Kutatási és Fejlesztési Szövetség (ESARDA) ○ Európai Sugárvédelmi Hatóságok Vezetőinek Találkozója (HERCA)
Többoldalú nemzetközi szerződések	○ Nukleáris Biztonsági Egyezmény ○ Közös Egyezmény

8. ábra: Többoldalú kapcsolatok típusai
Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.21.)

A kétoldalú kapcsolatok a nemzetközi szerződéseken és a társhatóságok szakmai alapú megegyezésein nyugszanak. A hivatal nagy hangsúlyt fektet a szomszédos országok hatóságaival, nukleáris létesítményeivel folytatott együttműködésekre. Legfőképpen igaz ez a VVER-típusú reaktorokat használó Csehország, Finnország és Oroszország vonatkozásban.

Az Európai Unió jogszabályok közül jelen dolgozatban nélkülözhetetlen megemlíteni az Euratom Szerződést. 1957-ben írták alá az Európai Atomenergia-közösséget (EAEEK/Euratom) megalapító szerződést. Az 1958-ban hatályba lépő szerződés célkitűzései között szerepelt a kutatás ösztönzése, műszaki információk ismertetése, biztonsági előírások egységesítése a társadalom védelme érdekében és annak garantálása, hogy a polgári felhasználásra szánt hasadóanyagokat egyéb célokra nem használják fel. Az Euratom megalapozta az uniós támogatás keretét. Az OAH koordinálja az Euratom Szerződés hazai végrehajtását. Másfelől részt vállal az Európai Bizottságnak javaslatot tevő Európai Nukleáris Biztonsági Hatóságok Csoportjában (ENSREG). Végezetül szóba hoznám az országos nukleárisanyag-nyilvántartó rendszer üzemeltetését, amely nemzetközi megállapodásokban vállalt kötelezettségeknek eleget téve, szintén az OAH nevéhez köthető. A rendszer össze van hangolva az Euratom irányelveivel és a NAÜ ajánlásaival, a nyilvántartásba vett anyagokról, azokhoz köthető változásokról folyamatosan adatszolgáltatási kötelezettsége van a NAÜ és az Európai Bizottság felé.

A nemzetközi együttműködések hozzájárulnak a hatósági eszközrendszer újításához, a jó gyakorlat megosztásával, kompetenciák átadásával, a továbbképzések, ajánlások, irányelvek együttesével. Elképzelésem szerint, ezek kombinációja egy nukleáris létesítményben elengedhetetlen ahhoz, hogy kifizetődően és biztonságosan működjön.

47 48 49 50

⁴⁷ Országos Atomenergia Hivatal: ISMERTETŐ FÜZET AZ ATOMENERGIA ALKALMAZÁSA MAGYARORSZÁGON,

[https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5F12930AD38AF595C1257C38002794DA/\\$FILE/ismerteto_web-1.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5F12930AD38AF595C1257C38002794DA/$FILE/ismerteto_web-1.pdf), (letöltés ideje: 2023. 06.22.)

⁴⁸ Paulovics, Anita: Az atomerőművek üzemidejének meghosszabbítása az Egyesült Államokban és Magyarországon, Journal of Agricultural and Environmental Law = Agrár- és Környezetjog, 2020, Vol.15 (28), p.344-375, https://epa.oszk.hu/01000/01040/00030/pdf/EPA01040_agrar_es_kornyezetjog_28_344-375.pdf, (letöltés ideje: 2023. 07.05.)

⁴⁹ 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200001.oah>, (letöltés ideje: 2023. 06.24.)

⁵⁰ Európai Parlament: Euratom szerződés, <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/hu/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>, (letöltés ideje: 2023.07.21.)

5. BIZTONSÁG MEGVALÓSULÁSA AZ ATOMERŐMŰVEKBEN

5.1 Biztonságos működés

A mindenre kiterjedő biztonságnövelő programok az 1980-as években indultak a bekövetkezett balesetek után. Az új egyöntetű nemzetközi norma- és eszközrendszer hozzájárult, hogy a nukleáris létesítményekben egy stabil biztonsági rendszer alakuljon ki. Ehhez először is a feltárt biztonsági problémát kell elhárítani, másodszor pedig egy új biztonsági magatartást kialakítani, e két összetevő a versenyképesség növelését is biztosítja. Azonban a legfontosabb tényező mindenkor a biztonság és annak fenntartása. A biztonságos működés egy sok tényezős összetett rendszer. Az nukleáris energia alkalmazásánál általános nukleáris biztonsági, sugárvédelmi és a műszaki biztonság célokat kell elsődlegesen kitűzni.

- Az általános nukleáris biztonsági cél az ionizáló sugárzás elleni védelem.

Az emberi életet, egészséget, anyagi javakat és a természetes környezetet az elfogadott módon és mértékben veszélyeztesse csak. Az ionizáló sugárzás felfedezése és annak károsító hatásainak felismerése között, kis idő telt el. A sugárzás akkor okoz kárt, ha a szövet elnyeli. Az elnyelt sugárzás mennyisége a dózis. A dózis nagysága határozza meg a hatás bekövetkezésének valószínűségét, de nem magának a hatásnak a súlyosságát. Különböző típusaik fordulnak elő, alfa, béta, gamma, röntgen, neutron sugárzás. Az ionizáló sugárzás biológiai hatását tekintve lehet determinisztikus és sztochasztikus.

- Sugárvédelmi célkitűzés, hogy a determinisztikus hatásokat el kell kerülni, a sztochasztikus hatások előfordulását pedig a lehető legalacsonyabb szinten kell tartani. Ennek megvalósítására az ICRP (International Commission for Radiation Protection, Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság) 1977-ben három alapelvet tett közzé ajánlásban.

Indoklás: Társadalomra nézve a tevékenység több haszonnal jár, mint kárral.

Optimálás: ALARA-elv (As Low AS Reasonably Achievable). Minden sugárterhelést ésszerűen elérhető legalacsony szinten kell tartani, figyelembe véve a gazdasági és társadalmi tényezőket.

Korlátozás: Az egyénekre jutó dózis nem haladhatja meg a Bizottság által javasolt határértéket.

- Műszaki biztonsági cél, hogy a lakosságot és munkavállalót érintő balesetek valószínűségét elfogadható szintre kell csökkenteni.

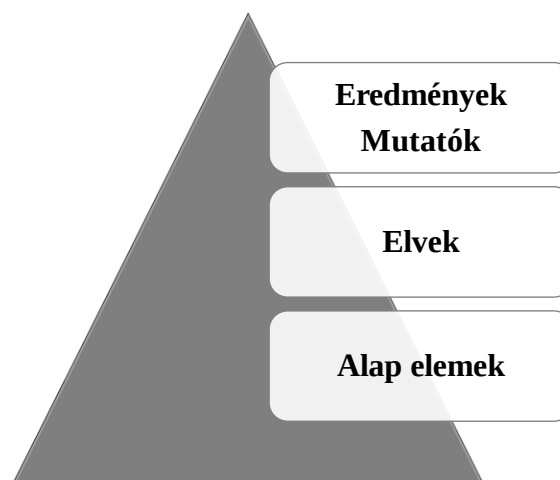
Az atomerőmű egy összetett üzem, ahol az eseményeket meghatározott szisztéma szerint lehet bontani az egyszerűbb berendezések viselkedéseire és az egyes kezelői cselekvések eredményeire. Ugyanis főként szabványos berendezésekből állnak (szivattyúk, szelepek,

motorok), melyek megbízhatóságáról adatokkal rendelkezünk. Ebből kifolyólag megjósolható a rendszerek teljesítménye és megbízhatósága. Ezt a technikát, eseményfa-analízisnek nevezzük. Ennek segítségével elemezni tudjuk az összes előforduló rendellenesség valószínűségét, valamint meg tudjuk határozni, milyen események fordulhatnak elő, milyen következményekkel a leggyakrabban az atomerőművek területén. Az elemzés egyfajta ésszerű keret ad, a számítások elvégzése rámutathat bizonyos eseménysorozatokra, ahol további biztonsági berendezésekre van szükség vagy pedig arra, hogy a berendezések megbízhatósága megfelelő.

Biztonság megvalósulásához további 3 komponensre kell említést tennem.

- Menedzsment felelősségvállalása: áll a biztonsági kultúrából, az engedményes felelősségéből és a hatósági ellenőrzésből
- Mélységi védelem stratégiája: mélységi védelem alapja a mérnöki gátak alkalmazása, balesetek megelőzése, következményeinek csökkentése
- Általános műszaki elvek: tesztelt mérnöki gyakorlat, minőségbiztosítás, önellenőrzés, szakértői átvizsgálás

Elsőként a biztonsági kultúra felépítését szeretném ismertetni, melyet a jéghegy modellel alapján szokás szemléltetni.



9. ábra: Biztonsági kultúra felépítése a jéghegy modell alapján
Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.25.)

A biztonsági kultúra egy igen érzékeny rendszer, melyet a politikai döntések, bizonyos külső tényezők befolyásolnak. A biztonsági kultúra leromlásához vezethet például, ha nem megfelelően informáljuk a létesítményben dolgozót.

A piramis alján található alap elemekre épül az egész kultúra. A meglévő kultúrát nem lehet teljes egészében átalakítani, csak új nézetek mentén adódik lehetőség annak felfrissítésére.

Az elvek szintjét a célok, hiedelmek, normák, stratégiák alkotják. Az említett normák megalapozzák a működéshez szükséges biztonságos környezetet. Az atomerőművekben a fejlett biztonsági rendszerekre ráfordított erőforrás igen magas, mégis jelentős eltérés van a kockázatok technikai értékelése és az emberek által alkotott kép között. Az emberek álláspontját nehéz megdönteni, az atomerőművekhez kötött hiedelmeiket a médiában keringő fals információk alapozzák meg, azonban a megfelelő információszolgáltatás eszköz lehet ennek enyhítésére. Számtalan kitűzött cél határozza meg a szervezetet. Alapvető célnak számít az üzemi szerkezetek, rendszerek, alkatrészek biztonságának, rendelkezésre állásának megőrzése, helyreállítása. Illetve a megelőző karbantartási program, mely a létesítmény berendezéseinek, meghibásodásának, működésre képes állapotban tartásának normál vagy vészhelyzeti használatához járul hozzá. További cél még a biztonsági kultúra folyamatos fejlesztése, amely feladatok elvégzésének módjából és a személyzet képzettségéből tevődik össze. A célok elérése érdekében stratégiákat kell kidolgozni. Minden szegmensnek megvan a maga stratégiája.

A piramis tetején lévő eredmények és teljesítménymutatók az eddig említésre kerülő komponensekből tevődik össze. Viszont ezek koordináláshoz szükség van a vezetőség szigorú hozzáállására és a rendszerben gondolkodásra. Elengedhetetlen az üzemvezetés hajlandósága az erős biztonsági kultúra elveinek alkalmazására és a kapcsolatos célokra való összpontosításra. A stabil működés mozgatórugója a világos kommunikáció az elvárásokról, kötelezettségekről. Fontos, hogy egyensúlyban legyen a felülről lefelé jövő kommunikáció és ne maradjon el a munkaerő megfelelő szintjén történő információcsere sem. A felső vezetés feladata, hogy kiemelt fontosságú üzenetet kommunikáljon a biztonságról és ezt tettekkkel is igazolja. A személyzettől elvárt attitűd kialakításához hozzájárulnak a speciális oktatások, képzések, illetve a tapasztalt kollégák iránymutatása.

Másodszor pedig a mélységi védelem szintjeit és mérnöki gátak alkalmazását szükséges bemutatnom. Kezdjük mérnöki gátakkal, melyek létfontosságú biztonsági funkciót látnak el, nevezetesen a lakosság és a környezet védelmét. Az atomreaktorokat úgy tervezték, hogy megakadályozzák a túlmelegedést és több korláttal is csökkentse a radioaktív anyagok kiszabadulásának esélyét, ha mind a fő, mind a vészhűtési rendszer meghibásodik. Az első akadály az üzemanyag formája, ugyanis a hasadási termékek az üzemanyagban keletkeznek és szabad felületre kell vándorolniuk, mielőtt kiszabadulhatnának. A kripton, xenon, jód és a cézium a legjelentősebb illékony hasadási termék. Ezeket a hasadási termékeket tovább korlátozza a következő gát, az üzemanyagot körülvevő burkolat. A reaktorokban a biztonsági rendszerek elengedhetetlen célja az üzemanyag-burkolat sértetlenségének megőrzése a

hőmérséklet korlátozásával. Ha az üzemanyag-burkolat meghibásodik a következő akadály az elsődleges hűtőfolyadékot tartalmazó kör (primerkör). A modern reaktorokban ezt a kört egy konténment szerkezet veszi körül, egyes kialakításoknál egy második konténment épülettel is ki van egészítve. A tervezés számos olyan vészhelyzeti rendszert tartalmaz, amelyek célja az említett akadályok integritásának megőrzése, illetve az áttörés valószínűségének alacsony szintre csökkentése. Ennek megvalósulása a megfelelő megbízhatósági szabványok szerinti tervezéssel jöhet létre. A reaktor biztonsági rendszereinek a baleset-megelőzés, monitorozás (a balesetre utaló jelek figyelése) és a baleset következményeinek enyhítése hármas kritériumnak is meg kell felelnie. Ezért kidolgozásra kerültek a mélységi védelem elvei. Az elv ismérve, hogy hasonló módon működő, mint a mérnöki gátak, a komplett atomerőműre, biztonsági rendszerekre kiterjed és a megelőzésre fekteti a hangsúlyt. A mélységi védelemnek 5 szintje van melyet a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség fejlesztett ki. Első szint az atomerőmű számára előnyös telephely kiválasztása. Törekedni kell a biztonsági ráhagyással való tervezésre és a berendezések átláthatóságára, egyszerű kezelhetőségére. A tervezés során kiemelt a hibákkal szembeni ellenálló képesség növelése, különösen igaz ez az emberi hibák lehetőségeinek kizárására. Számításba kell venni olyan külső eseményeket is melyeket, míg jelentős veszteség nélkül el tudnak szenvedni a rendszerek. Jelentőségteljes mozzanat a felelősség megnevezése. A második szint esetén az erőművet a tervezett működési határokon belül kell tartani. A biztonsági korlátokon belüli maradást garantálják a karbantartások, tesztelesek. Rendellenesség esetén azonnali kijavítás szükséges. Fontos, hogy a kizárható hibák a gyakorlatban is ténylegesen ki legyenek zárva. A harmadik szintnél a hihető és nem kizárható balesetekre készítsük fel a rendszert. Olyan biztonsági rendszereket, berendezéseket iktatunk be, melyekkel ezeket kezelni tudjuk. Jellemzőjük, hogy automatikusan működnek, emberi közbelépést csak később igényelnek. A negyedik szinten komoly következményekkel járó, váratlan, tervezésen felüli balesetekre kell készülni. Számolnunk kell azzal, hogy biztonsági rendszerek már nem fukcionálnak megfelelően, ezért olyan berendezéseket kell rendszerbe állítani, melyek késleltetik vagy csökkentik a radioaktív anyagok kiszabadulását, ezáltal is időt nyerve például a lakosság kitelepítésére, kimenekítésére. Az ötödik szint a radioaktív anyag nagy mennyiségben kikerül a telephelyen kívüli is. Helyzet kezelésére hatósági intézkedésekre, vészhelyzeti intézkedési tervek, szakértői csoportok felállításra van szükség.

⁵¹ Kovács Antal: Kommunikáció a társadalommal, mint atomenergiafogyasztóval, DOKTORI ÉRTEKEZÉS, Pécs, 2010, https://pea.lib.pte.hu/bitstream/handle/pea/841/Kovacs%20Antal_doktori%20ertekezes.pdf?sequence=1, (letöltés ideje: 2023.06.23.)

⁵² DOBOR József; KOSSA György; PÁTZAY György: ATOMERŐMŰVI BALESETEK ÉS ÜZEMZAVAROK TANULSÁGAI 1., Hadmérnök XII. Évfolyam 1. szám – 2017. március, http://www.hadmernok.hu/171_06_dobor.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

⁵³ DOBOR József; KOSSA György; PÁTZAY György: ATOMERŐMŰVI BALESETEK ÉS ÜZEMZAVAROK TANULSÁGAI 2., Hadmérnök XII. Évfolyam 4. szám – 2017. december, http://www.hadmernok.hu/174_09_dobor.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

⁵⁴ Országos Atomenergia Hivatal: A biztonsági kultúra felmérése és az eredmények hasznosítása nukleáris létesítményeknél, 2015. szeptember, [http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/\\$File/2.18v1.pdf](http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/$File/2.18v1.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.24.)

⁵⁵ Országos Atomenergia Hivatal: Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez, 2019. november, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/BEA98D0C319A3C51C1257F41003303E7/\\$File/SV_17_1.0.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/BEA98D0C319A3C51C1257F41003303E7/$File/SV_17_1.0.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.25.)

⁵⁶ Atomerőművek biztonsága: <https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Biztonsag.pdf?la=hu-HU>, (letöltés ideje: 2023.07.26.)

⁵⁷ L. E. J Roberts: Nuclear power and public responsibility, Cambridge [Cambridgeshire] New York : Cambridge University Press, 1984, ISBN : 0521247187

⁵⁸ International Atomic Energy Agency: Safety culture in the maintenance of nuclear power plants, Vienna : IAEA, 2005, ISBN : 92-0-112404-X

5.2 INES rendszer ismertetése

7. Nagyon súlyos baleset	BALESET
6. Súlyos baleset	
5. Kiterjedtebb következményekkel járó baleset	
4. Helyi következményekkel járó baleset	
3. Súlyos üzemzavar	ÜZEMZAVAR
2. Üzemzavar	
1. Rendellenesség	
0. Skála alatti szint-Nincs biztonsági jelentősége	

10. ábra INES rendszer bemutatása

Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.04.)

Az Nemzetközi Nukleáris és Radiológiai Esemény Skála-The International Nuclear and Radiological Event Scale, (INES-Skála) létrehozásának szükségességére a korábbi ipari balesetek világítottak rá. 1989-ben került sor a skála kialakítására a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) és az OECD Nukleáris Energia Ügynökség (OECD NEA) szakemberei segítségével. A skála pontosításával, újításával szintén e kettő szervezet foglalkozik. Napjainkban az atomerőművekben bekövetkező esetek minősítése mellett, radioaktív anyagok és források szállítása, tárolása és alkalmazása során történő események osztályozására is alkalmas.

Mindemellett az INES informálja a lakosságot az esetleges sugárzással járó eseményekről, annak mértékéről, súlyosságáról a végrehajtandó biztonsági intézkedésekről. Az események értékelése hét szinten történik, illetőleg bevezettek egy 0. vagy skála alatti szintet, mely nincs hatással a biztonságra. Bevezetésének az oka az volt, hogy szigorúbban, következetesebben kezeljenek bármiféle apró eltérést, minimálisra csökkentsék az ebből adódó eszkalálódás esélyét. Az INES 1-3 szintek üzemzavar kategóriába tartoznak, míg a 4-7 szinteket

baleseteknek nevezik. A szintek meghatározására és az eset minősítésére egy kézikönyv nyújt segítséget a szakembereknek.

Nukleáris létesítményben az engedélyest jelentési kötelezettség terheli mind a skála alatti, mind a 1-7 szintű esemény bekövetkezése esetén. 24 órán belül értesítenie kell a nukleáris biztonsági hatóságot, Magyarország esetében az Országos Atomenergia Hivatalt, ezenkívül javaslatot kell tennie a besorolásra, a végső döntést a hatóság határozza meg. Továbbá az OAH feladatai közé tartozik, hogy észlelést követő napon belül beszámoljon a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségnek.^{59 60}

⁵⁹ Országos Atomenergia Hivatal: Ines skála
https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=2_6_1, (2023.07.04.)

⁶⁰ Rausch Péter: A nukleáris energiatermelés helyzete és szerepe a jelenkori társadalomban, Budapest, 2009.,
<http://rexades.web.elte.hu/letoltes/rpszakdolgozat.pdf>, (2023.07.04.)

5.3 Baleset-elhárítás

A magyarországi nukleárisbaleset-elhárítási rendszer egyidőben figyelembe veszi az európai uniós, a hazai, illetve a szomszédos országokra vonatkozó kötelezettségeket, ajánlásokat. A nukleáris létesítmények, az elhagyott, ellopott radioaktív sugárforrások, emberi mulasztásból vagy szándékosságból eredő balesetek idézhetnek elő nukleáris veszélyhelyzetet. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség veszélyhelyzeti tervezési kategóriákat határozott meg (I-V). Táblázat segítségével szeretném ismertetni az egyes kategóriába tartozó létesítmények jellemzőit hazai vonatkozásban.

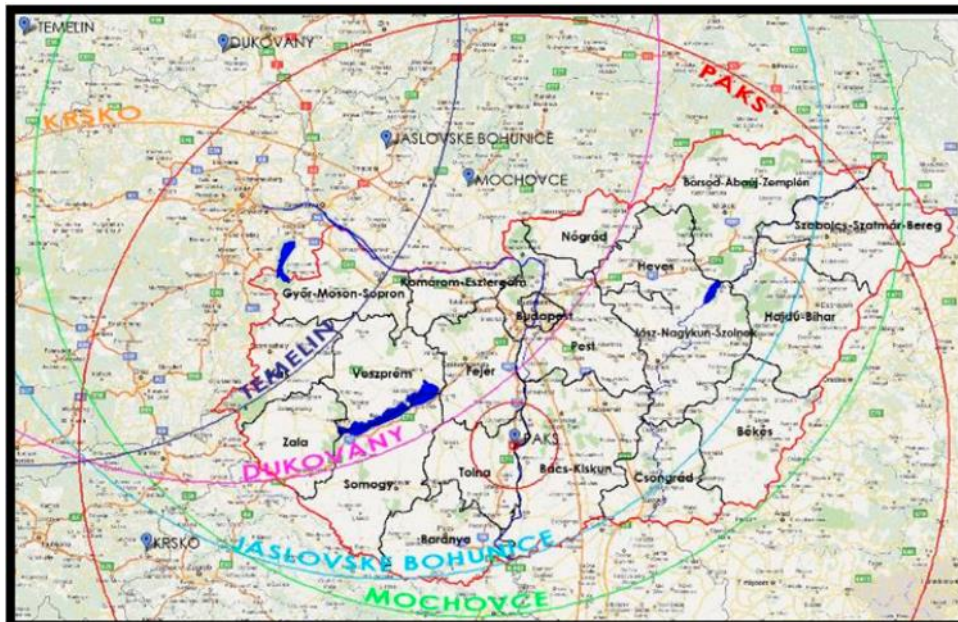
Kategória	Létesítmény	Jellemző
I.	Paksi Atomerőmű	- determinisztikus hatás telephelyen kívül - lakosságot veszélyeztet >100 MWth teljesítményű atomreaktor - fűtőelem pihentető medence
II.	KKÁT Budapesti Kutatóreaktor Izotóp intézet	- determinisztikus hatás nincs - azonnali óvintézkedésre lehet szükség telephelyen kívül 2-100MWth teljesítményű atomreaktor - hűtést igénylő fűtőelem tároló
III.	BME Oktatóreaktor RHFT NRHT	- telephelyen belüli következményekkel járó esemény <2 MWth teljesítményű atomreaktor - nagy mennyiségű árnyékolatlan sugárforrás
IV.		- ország bármely területén - típusai: szállítási baleset, terrorcselekmény, jelentős besugárzás, sugárforrással előidézett veszélyhelyzet
V.	Bohunice Atomerőmű Mohovce Atomerőmű Krsko Atomerőmű Dukovany Atomerőmű Temelin Atomerőmű	szomszédos országok I., II. kategóriába tartozó létesítmények balesetei

11. ábra: Veszélyhelyzeti tervezési kategóriákat összefoglaló táblázat

Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.28.)

(KKÁT: Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolója, RHFT: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, NRHT: Nemzeti Radioaktív hulladék-Tároló)

Illetve, a térkép segítségével pedig a szemléltetném a Paksi Atomerőmű, valamint a szomszédos országokban esetlegesen bekövetkezett balesetek hatásainak a kiterjedését.



12. ábra: Hazánk nukleáris veszélyeztetettsége

Forrás: Kátai-Urbán Lajos, Kiss Béla: Nukleáris erőművek, mint a veszélyes technológia és az országos nukleáris balesetelhárítási rendszer, HADMÉRNÖK 9: 3 pp. 80-96., 17 p. (2014),

http://www.hadmernok.hu/143_07_kataiul.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.24.)

A tervezési kategóriák mellett, nukleáris veszélyhelyzeti osztályokba is sorolják az egyes eseményeket. Ez segít a szükséges intézkedések azonnali fogantatásában. A nevezett osztályok a következők: általános, helyi, létesítményi és potenciális veszélyhelyzet. Az általános veszélyhelyzet alkalmával nagy kiterjedésű területen, a radioaktív anyag környezetbe kerülése miatt, óvintézkedések azonnali megtétele szükséges. Helyi veszélyhelyzet amikor, az esemény környezetében lévő személyek sugárterhelésének jelentős növekedése következik be, ezért lépéseket kell tenni a következmények mérséklésére és a lakosságvédelmi intézkedések előkészítésére. Létesítményi veszélyhelyzet, csakis az üzem területén tartózkodókat veszélyeztet. A védelem nagyfokú hanyatlásával szemben munkavállalók azonnali védelmét kell biztosítani. Potenciális veszélyhelyzetről akkor beszélünk, amikor a létesítmény valamelyik szektorában tartózkodók védelmi szintjében, kérdéses változás vagy számottevő csökkenés következik be. Azonnali intézkedés szükséges a kockázat és következmény mérséklésére. Pár szóban kitérek a veszélyhelyzet tervezési zónákra a telephelyen kívül. A megelőző óvintézkedések zónája (MÓZ) az I. veszélyhelyzeti tervezési kategóriába sorolt létesítmények előzetesen kijelölt területe. A sürgős óvintézkedéseket előre megtervezik és szükség esetén, azonnali végrehajtást rendelnek el. A determinisztikus hatások hatékony megelőzése a cél. Sürgős óvintézkedések zónája (SÓZ) azaz előre kijelölt I. vagy II. kategóriába

tartozó létesítmények területe, ahol a sürgős óvintézkedéseket előzetesen megtervezik. A helyzet megítélése alapján a halaszthatatlan óvintézkedéseket azonnal végrehajtják a dózisok elkerülése érdekében. Élelmiszer-fogyasztási korlátozások óvintézkedési zónájának (ÉÓZ) kijelölésre is sor kerülhet bizonyos esetekben, ennek kiterjedése több száz kilométer is lehet. A sztochasztikus hatások csökkentése okából, a lakosság élelmiszer fogyasztásának, élelmiszer feldolgozó üzem tevékenységének korlátozására van szükség. A létesítmény körüli óvintézkedési zónák területe utakkal, folyókkal vannak körülvéve, az egyszerű beazonosíthatóság érdekében.

Következőekben térjünk rá a nukleáris baleset-elhárítási feladatokra. A hazánkban működő Országos Nukleárisbaleset-elhárítási rendszer (ONER)⁶¹ feladata a veszélyhelyzet elhárítása vagy a következmények mérséklése és megszüntetése. Az ONER működtetése és a nukleáris veszélyhelyzet elleni védekezés megtervezése, irányítása kormányzati szintű feladat, melyben közreműködnek a központi, ágazati, területi és helyi szintű szervek és szervezetek. Az 167/2010. (V. 11.) kormányrendelet rendelkezik az ONER felépítéséről, működéséről és feladatairól. Az ONER irányításával összefüggő feladatok elvégzéséről a kormányzati koordinációs szerv, a Katasztrófavédelmi Koordinációs Tárcaközi Bizottság (KKB) gondoskodik. A Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (BM OKF) részt vállal az ONER működtetésében. A KKB meghatározza a központi veszélyelhárítási terv részeként, az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Intézkedési Tervben (OBEIT) az ONER működési rendjét. 4 működési állapotot különítünk el, normál, készenléti, veszélyhelyzeti és helyreállítási működési állapot és a hozzájuk kapcsolódó feladatok.

- Normál működési állapotban: monitorozás, riasztási rendszer üzemeltetése, intézkedési tervek naprakészen tartása
- Készenléti működési állapotban: nagyfokú monitorozás, lakosság tájékoztatása aktuális helyzetről, előkészület a vészhelyzeti működésre
- Vészhelyzeti működési állapotban: bekövetkezett nukleáris veszélyhelyzet következményeinek felmérése, csökkentése, elhárítása
- Helyreállítási működési állapotban: helyreállításban részt vevő szervek informálása, műszaki és tudományos támogatása

⁶¹ BM OKF: ONER, <https://www.katasztrofavedelem.hu/91/orszgos-nuklearisbaleset-elhrtsi-rendszer-jogszablyok>, (letöltés ideje: 2023.07.28.)

Az Országos Sugárfigyelő, Jelző és Ellenőrző Rendszer (OSJER)⁶² szolgáltatja az információkat a KKB-nak a döntések előkészítéséhez és döntéshozó tevékenységéhez. A belügyminiszter látja el az OSJER szakmai irányítását. Az OSJER rendeltetése, az országos sugárzási helyzet megszakítás nélküli figyelése, ellenőrzése, radiológiai adatok gyűjtése, elemzése, értékelése, adott esetben riasztás, valamint a távmérő-hálózatról beérkező információ hitelességének ellenőrzése. Továbbá működteti a Radiológiai Távmérő Hálózat telepített távmérőállomásait, Mobil Radiológiai Laboratóriumokat és a Helyhez Kötött Laboratóriumokat. A hivatásos katasztrófavédelmi szerv központi szervének Nukleáris Baleseti Információs és Értékelő Központjának (BM OKF NBIÉK) irányítása alá tartozik az OSJER. A BM OKF NBIÉK végzi az országos korai előrejelzés és a nemzetközi radiológiai monitoring adatcsere rendszer központi feladatait, előrejelzi a sugárzás várható terjedési irányát, online működteti a valós idejű döntéstámogató rendszert. Az imént említett rendszer a Realtime, Online, Decision Support System (RODOS)⁶³, mely a BM OKF NBIÉK alárendeltségében működik. Az Európai Unió támogatása révén kidolgozott rendszer, elősegíti az együttműködést a rendszert használó országok között. A RODOS használható a baleset modellezésére, hatáselemzés készítésre, óvintézkedések ajánlására. Interaktív és automatikus üzemmódban használható. Az előbbi baleseti scenáriók és kézzel bevitt adatok alapján, az utóbbi az eseménnyel egyidőben beérkező adatok felhasználásával működtethető. 4 szinten képes a döntéstámogatásra. 0.szinten radiológia adatok gyűjtésével, ellenőrzésével és megjelenítésével foglalkozik. 1. szinten térben és időben illusztrálja a várható radiológia helyzetet. 2. szinten a számba vehető beavatkozásokról készít szimulációt (pl. kitelepítés) és 3. szinten értékeli és rangsorolja az alternatív óvintézkedéseket. A Nemzetközi radiológiai adatcsere rendszerek arra hivatottak, hogy a jelző berendezések által észlelt sugárzást regisztrálják és továbbítsák más országoknak.

Az Európai Radiológiai Adatcsere Platform (EURDEP)⁶⁴ is egy ilyen rendszer. Kötelező adatszolgáltatást von maga után az uniós tagországok számára, említésre méltó, hogy unión kívüli országok is beléphetnek a rendszerbe. A beküldött mérési adatok elérhetőek az országok részére. Érintőlegesen megemlíteném, hogy a katasztrófavédelmet a nukleárisbaleset-

⁶² BM OKF: OSJER, <https://www.katasztrofavedelem.hu/92/orszagos-sugarfigyelo-jelzo-es-ellenorzo-rendszer>, (letöltés ideje: 2023.07.28.)

⁶³ BM OKF: RODOS, <https://www.katasztrofavedelem.hu/95/nuklearisbaleset-elharitasi-dontestamogato-rendszer>, (letöltés ideje: 2023.07.28.)

⁶⁴ BM OKF: Nemzetközi radiológiai adatcsere rendszer, <https://www.katasztrofavedelem.hu/94/nemzetkozi-radiologiai-adatcsere-rendszer#top>, (letöltés ideje: 2023.07.28.)

elhárítással kapcsolatos feladatainak ellátásában a Katasztrófavédelmi Mobil Labor (KML) és a Katasztrófavédelmi Sugárfelderítő Egység (KSE) segít.

Szeretnék betekintést nyújtani a Paksi Atomerőmű nukleárisbaleset-elhárítási rendszerébe. Az atomerőmű Átfogó Veszélyhelyzet-kezelési és Intézkedési Tervvel rendelkezik (ÁVIT). A tervezés lényege, hogy előre meghatározzák az erő és eszközigényt az esetlegesen bekövetkező nukleáris veszélyhelyzetek, üzemet érintő esemény csoportok és azok következményeinek elhárításához. Fontos kihangsúlyozni, hogy az ÁVIT-ben részletesen ki lettek dolgozva a megelőzési, elhárítási és helyreállítási tervek. Illetve, hogy a baleset-elhárításban részt vevők magas szintű tudással rendelkeznek a veszélyhelyzeti eljárásokkal kapcsolatban. Az ÁVIT célkitűzése, hogy a bekövetkezett vészhelyzetet kontroll alatt tartja, megelőző és a helyreállító tevékenységet végez, a determinisztikus hatásokat elkerüli, a sztochasztikus hatásokat pedig lecsökkenti, valamint védi az anyagi javakat és a természetet. A korábban felsorolt veszélyhelyzeti tervezési kategóriák közül Paksi Atomerőműben 3 kategóriát vizsgálunk. I. kategóriába az atomerőmű blokkjai, a fő és segéd berendezések, valamint a pihentető medence került. A III. kategóriába azok a műszerek, berendezések tartoznak, melyek nukleáris vagy radioaktív anyagot tartalmaznak pl. Cézium-137. A IV. veszélyhelyzeti tervezési kategória az üzem területén belüli radioaktív anyaggal összefüggő szállítási tevékenység. A veszélyhelyzeti osztályok szintén megegyeznek a fentebb említett osztályokkal. Az atomerőműben Baleset-elhárítási Szervezet (BESZ) működik, melynek működési területe az üzem területére terjed ki. A BESZ koordinálja a mentési és helyreállítási feladatok véghezvitelét, a veszélyhelyzetek felszámolását. A szervezetet teljesen vagy részlegesen lehet riasztani, működési állapotait tekintve megegyezik az ONER működési állapotaival. Olyan káresemény bekövetkezésekor, amely a BESZ erejét meghaladja, külső segítséget kérhet. A belső és külső együttműködéssel a kommunikáció az informatikai eszközökön keresztül történik. Külső együttműködők közé tartozik például az Országos Atomenergia Hivatal, BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóságok és a Védelmi Bizottságok. A Baleset-elhárítási Szervezet alárendeltségébe tartozik a Paksi Atomerőmű Létesítményi Tűzoltósága. A létesítmény területén belül ellátja a kutatási, üzemzavar és kárelhárítási, műszaki mentési, illetőleg a súlyos baleset kezelési feladatokat. Súlyos baleset kezelési feladat például a külső hűtőközeg ellátás biztosítása, SBK dízel generátor működtetése.

⁶⁵ Kátai-Urbán Lajos, Kiss Béla: Nukleáris erőművek, mint a veszélyes technológia és az országos nukleárisbalesetelhárítási rendszer, HADMÉRNÖK 9: 3 pp. 80-96., 17 p. (2014), http://www.hadmernok.hu/143_07_kataiul.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.24.)

⁶⁶ Antal Zoltán, Révai Róbert, Bérczi László: Nukleáris baleset-elhárítás Magyarországon, különös tekintettel az egészségügyi hatásokra – I. rész, Műszaki Katonai Közlöny, 29. évfolyam (2019) 3. szám 5–20, DOI: 10.32562/mkk.2019.3.1., http://real.mtak.hu/106163/1/2019_3-1_Antal-Revai-Berczi_5-20.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02.)

⁶⁷ Antal Zoltán, Révai Róbert, Bérczi László: Nukleárisbaleset-elhárítás Magyarországon, különös tekintettel az egészségügyi hatásokra – II. rész, Műszaki Katonai Közlöny, 29. évfolyam (2019) 4. szám 133–155. DOI: 10.32562/mkk.2019.4.9, http://real.mtak.hu/107450/1/MKK_2019_4_Antal_Zoltan_Revai_Robert_Berczi_Laszlo.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02.)

⁶⁸Fülöp N. Salik Á.: Nukleáris baleset-elhárítás, https://biofiz.semmelweis.hu/run/dl_t.php?id=9223&tid=458, (letöltés ideje: 2023.07.27.)

6. HAZAI ENERGIAELLÁTÁS HELYZETE

A magyarországi energiarendszerben a villamos energiát különböző erőművekben állítják elő. Hazánkban a már tárgyalt Paksi Atomerőmű a meglévő négy blokkjával a legnagyobb erőmű, mely megtermeli az itthoni villamos energia körülbelül 50%-át. Emellett gáztüzelésű, szénttüzelésű, biomassza erőművek, illetve csekély számban víz és szélenergia-erőművek is előfordulnak. A Magyar Villamos Művek Zrt. (MVM Zrt.) vásárolja meg a megtermelt áramot és az importot. Ezt az eljárást felügyeli a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR Zrt.), valamint rendezi az áram elosztását, amelyek a helyi szolgáltatók révén kerülnek a kisfogyasztókhoz. Az ipari felhasználók a versenypiacon áramkereskedő cégektől vagy közvetlen importból vásárolják meg az áramot.

6.1. Hazai nukleáris energiatermelés

A 4. fejezetben a Paksi Atomerőművet mutattam be, jelen részben a termelési volumenére térek ki. Az atomenergia a hazai klímabarát villamos energia leglényegesebb alapja. A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai szerint a 2022-es évben a bruttó villamosenergia-termelés együttesen 35,699 TWh volt. Ebből a hazai villamosenergia-rendszer (VER) legfőbb termelője a Paksi Atomerőmű volt, közel 45%-kal (15,812 TWh).⁶⁹

Hazánk az European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), azaz a villamosenergia-átviteli rendszerüzemeltetők európai hálózatának tagja. E szervezet navigálja számos ország villamosenergia átviteli rendszerüzemeltetőjének (Transmission System Operators, TSO) villamosenergia piaci tevékenységeit, rendszer működtetési és fejlesztési feladatait. A brüsszeli székhelyű ENTSO-E, foglalkozása kiterjed a 10 éves időszakra szóló villamosenergia hálózat fejlesztési tervek, átláthatósági platformok, irányelvek, hálózati kódexek, stratégiák kivitelezésére. E tevékenysége egész Európára kiterjed. Az ENTSO-E tagok munkájának gyümölcse a világ legjelentősebb és legversenyképesebb villamosenergia-rendszerében az ellátásbiztonság fenntartása, illetve új kihívások sikeres megoldása.

A magyarországi villamosenergia rendszer (VER) termelői területét évente a már említett MAVIR felülvizsgálja. Egyebek között információt ad a termelői szektor állapotáról, az aktuális eseményekről, mint például erőművek leállításáról vagy beruházások lefolyásáról. Mindezt a hazánkban található erőművek életkorának, műszaki paramétereinek segítségével. A VER felépítését illetően több szintből tevődik össze. Alapvetően a villamos hálózat feladata az erőművekben termelt villamos energiát összegyűjteni és eljuttatni a fogyasztókhoz. Az

⁶⁹ Központi Statisztikai Hivatal: Bruttó villamosenergia-termelés, https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0009.html, (letöltés ideje: 2023. 08.08.)

erőművek között funkciójuk szerint hármat különböztetünk meg: alaperőművek, menetrendtartó és csúcserőművek. Az alaperőművi termelők közé sorolható a meglévő és épülő Paksi Atomerőmű blokkjai is. Az alaperőművek az év minden napján éjjel-nappal termelnek, míg a menetrendtartó erőművek (földgázzal, szénrel működők) figyelemmel kísérik az áramigény görbáját. A csúcserőművek pedig a reggeli és esti csúcsideőben csatlakoznak be.⁷⁰ Most pedig térjünk rá a villamos hálózat különböző szintjeire. Első helyen a 220 kV-os, 400 kV-os és 750 kV-os alaphálózatok helyezkednek el, melyek rendeltetése a nagy mennyiségű energia kifizetődő szállítása, az alaperőművek és 100 MW-ot meghaladó termelő létesítmény betáplálási pontjainak biztosítása. Ezt követi az elosztóhálózat, melybe a villamosenergia túlnyomó része az alaphálózati transzformátor állomások segítségével jut el. Az elosztóhálózat a nagy ipari üzemeket és a fogyasztói szektorokat szolgálja ki 132 kV, 35 kV, 22 kV, 10 kV feszültség szinten. Ehhez kapcsolódhatnak a 100 MW-nál kisebb beépített teljesítménnyel bíró erőművek. Középfeszültségen működnek (10 kV, 6 kV, 3 kV) az ipari üzemek belső hálózatai. Illetőleg kiefeszültségen üzemel (0,4 kV), a lakossági felhasználók számára áramszolgáltatók által eljuttatott villamos energia.⁷¹

Megjegyzendő, hogy a Paksi Atomerőmű klímabarát mivoltát tekintve, nem bocsát ki széndioxidot. A fosszilis tüzelőanyaggal működő erőművekhez mérten, évente megtakarítja 2 millió ember oxigén szükségletét. Ez a szám azonos a magyar erdők éves oxigéntermelésével.⁷²

⁷⁰ Energiaklub: A JELENLEGI ÉS A RUGALMAS ENERGIARENDSZER, https://energiaklub.hu/files/infographics/infografika_energiarendszerek.pdf, (letöltés ideje: 2023.08.14.)

⁷¹ Molnár Ferenc: Ellátásbiztonság a biztonságért, BIZTONSÁGTUDOMÁNYI SZEMLE 2. 3 pp. 89-106. , 18 p. (2020), <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/80/67>, (letöltés ideje: 2023.06.23.)

⁷² MVM Paksi Atomerőmű: 15 hónapos üzemeltetési ciklus bevezetése a Paksi Atomerőmű 1-4 blokkján, 2015, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5B44C9B8EBED8959C1257E5B0032BFAC/\\$File/PAZrt_ossz_efoglalo_C15.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5B44C9B8EBED8959C1257E5B0032BFAC/$File/PAZrt_ossz_efoglalo_C15.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.18.)

6.2. Lakosság ellátottsága, ellátásbiztonság

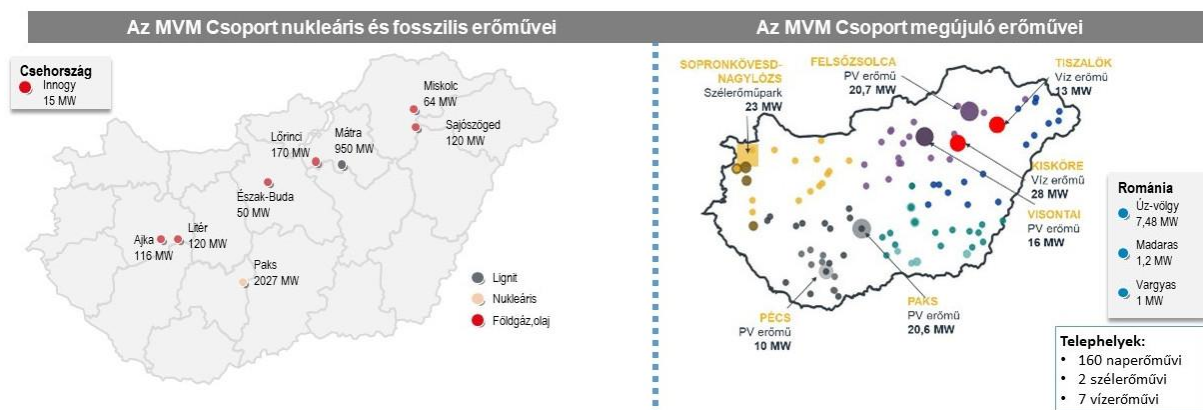
A villamosenergia rendszer struktúrájának és működésének minden esetben az ellátásbiztonság javára kell szolgálnia. A hazai termelő kapacitások rendelkezésre állása, az ellátásbiztonság elemei része. Szintén az ellátásbiztonság javára szolgálnak a magyar energiapolitika alapvetései, többek között a Nemzeti Energiastratégia 2030 kiadvány vagy Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal által kiadott ajánlások. A villamosenergia-piac az európai villamosenergia-rendszer része melynek célja az egységes európai rendszerbe történő integrálás. Egy jól működő rendszer tagjaként fontos, hogy képesek legyünk megtermelni az ország szükségleteit, egyrészt az ellátásbiztonság szemszögéből, másrészt pedig a rendszer stabilitásának érdekében.

Térjünk át a konkrét számokra. A következő adatok tartalmazzák a lakossági napelemek útján megtermelt és elfogyasztott villany mennyiségét is. 2022-ben a hazai villamosenergia-fogyasztás körülbelül 47,32 TWh volt, a 2021-es értékhez képest (48,03 TWh) 1,48%-os csökkenést figyelhetünk meg. Az a tendencia figyelhető meg az elmúlt 10 évből, hogy a hazai villamosenergia-fogyasztás átlagban évi 1,28%-kal emelkedett. További jelentősebb emelkedést idézhet elő a jövőben az, hogy előtérbe került a hőszivattyús technológia, illetve az elektromos autók. Már így is a hazai primerenergia felhasználás kb.50%-ért felelősek.

Ha a 6.1 fejezetben már említésre kerülő termelési adatokat összevetjük a fogyasztásiakkal, akkor arra a megállapításra jutunk, hogy a hazai termelés a maximális villamosenergia-igény 75,44%-át biztosította.

A villamosenergia-fogyasztás Magyarországon az alábbiak szerint alakult. Az energiamix legnagyobb szeletét 33%-kal az atomenergia tette ki, jelentősebb volt még a földgáz 18 %-kal, illetve a megújuló energiaforrások 15%-kal, azonban belül is a napelemek (9,8%). Összesítve, a magyarországi napelemes villamosenergia termelő park 4006 MW-ra gyarapodott a 2022-es évben. Ehhez egyfelől a napelemparkok termelőképességének bővülése (+ 700 MW), másfelől a lakossági fotovoltai napelemek, a háztartási méretű kiserőművek (HMKE napelemek) kapacitásának emelkedése (+ 350 MW) járult hozzá.

Szeretnék külön említést tenni az MVM Csoport energiatermelő tagvállalataira, melyek nagy horderejű, stabil támaszt nyújtanak a hazai energiaellátásnak.



13. ábra: MVM Csoport nukleáris, fosszilis és megújuló erőművei (2021)
 Forrás: <https://mvm.hu/hu-HU/Tevekenyseguink/Termeles>, (letöltés ideje: 2023.08.08.)

Tekintettel arra, hogy csak 2021-es adatok állnak rendelkezésre, így is elmondható, hogy a csoport közel 60% járul hozzá villamosenergia-termeléshez.⁷³ Lakóhelyem közelsége miatt, 2 létesítményről szeretnék néhány szót szólni. Elsőként a Mátrai Erőmű új nevén MVM Mátra Energia Zrt. Jelentősen szerepet tölt be több szempontból is pl. ellátásbiztonság, energiafüggetlenség, munkaerőpiac. Magyarország második legnagyobb alaperőműve, pontosabban lignit erőmű mely, 950 MWe-os beépített teljesítménnyel, a teljes hazai villamosenergia-termelés 15%-át biztosítja. Hazánk kiemelt érdeke az erőmű működtetése, ezen okból kifolyólag a közeljövőben a lignittüzelés kivezetésre kerül, cserébe fejlettebb és fenntarthatóbb technológia lép.⁷⁴ Másodsorban a Lőrinci Gázturbinás Erőmű, amit az MVM Balance Zrt. üzemeltet. A gázturbinás erőművek tartalék erőművi erőforrást jelentenek a rendszerirányító MAVIR Zrt. számára különböző esetekben. Ilyen alkalomnak számít, a nagy leterheltségű ciklusok, az import jelentős mértékben történő megcsappanása vagy teljes abbamaradása, illetve, ha váratlan módon valamely jelentős hazai erőművi kapacitás lekapcsolódik az energiarendszerről.⁷⁵

Összegezve az ellátásbiztonság megőrzése, növelése érdekében a következő dolgok elengedhetetlenek:

- energiahatékonyság javítása a fogyasztás redukálásával
- kiöregedő erőművek, kieső kapacitásainak pótlása új erőművek építésével

⁷³ MVM: Termelés, <https://mvm.hu/hu-HU/Tevekenyseguink/Termeles>, (letöltés ideje: 2023.08.08.)

⁷⁴ MVM Mátra Energia: Tevékenység, <https://mert.mvm.hu/Rolunk/Tevekenysegu>, (letöltés ideje: 2023.08.15.)

⁷⁵ MVM Balance: Tevékenység, <https://balance.mvm.hu/hu-HU/Bemutatkozas/Tevekenyseguink>, (letöltés ideje: 2023.08.15.)

- a nukleáris energia felhasználása, mely több módon is szavatolja az ellátásbiztonságot, nevezetesen nagyfokú teljesítmény kihasználtsággal, magasan képzett szakemberekből álló csapattal, kellő mennyiségű fűtőelem készlettel^{76 77}

⁷⁶ Molnár Ferenc: Az energiaellátás biztonságának fejlődése a magyar villamosenergia rendszer történetében, BIZTONSÁGTUDOMÁNYI SZEMLE 4 : 2. különszám / Rajnai 60 pp. 71-85. , 15 p. (2022), <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/289/247>, (letöltés ideje: 2023.08.15.)

⁷⁷ Dr. Hugyecz Attila: A MAGYAR VILLAMOSENERGIA-PIAC 2022-BEN, Elemző percek No. 134., VER 2022. éves riport (Paks II.), 2023. január 20. <https://paks2.hu/documents/20124/286244/Elemz%C5%91+percek+134.+r%C3%A9sz+-+2023.+01.+20.+VER+2022.+%C3%A9vi+riport.pdf/345b9a2e-60a2-4ec7-9c70-29fb7bae3e0d?t=1674478594652>, (letöltés ideje: 2023.08.08.)

6.3. Energiafüggőség

Magyarország fontos célkitűzése az energiafüggetlenségének megerősítése, ehhez két elengedhetetlen dolog járul hozzá. Egyfelől a nagyarányú energiaimport redukálása, másfelől pedig a fennmaradó energiaimportunk esetében az ellátásbiztonságról és a hatékony importversenyről kezeskedő változatosság (diverzifikáció). Ami az energiabiztonságot illeti, meg kell említeni, hogy egy ország, társadalmi gazdasági egyensúlyának és jóléti intézkedéseinek kiindulópontja a megbízható, elérhető, megfizethető energia.

Kijelenthetjük, hogy hazánk villamosenergia igényének jóformán harmadát importból biztosítjuk. Ez 2022-ben sem volt másként ugyanis a fogyasztás közel 30%-a (24,56%) azaz körülbelül 12 TWh (11,621 TWh) importból származott. Ennek legfőbb oka az erőműveket érintő elöregedés és ezzel egyúttal a hatékonyságuk lecsökkenése. A legfőbb országok, ahonnan az import érkezett, az nem más, mint Ausztria és Szlovákia. Megfigyelhető, hogy a szlovák import kétszeresére növekedett, a két ország között lévő határkeresztező kapacitás bővülésével. A fejlesztésre 2021-ben került sor, ezzel párhuzamosan szembetűnő volt, hogy az Ausztria felől érkező import pedig 50%-kal csökkent. Országunk az importnál elenyészőbb mennyiségben exportál a Balkán felé, különösen Horvátországnak és újonnan Szlovéniának. 1 éve állt működésbe a magyar-szlovén határkeresztező vezeték. Ennek okán, számottevő fellendülést figyelhattunk meg az exportban. Az felett sem lehet elsiklani, hogy a villamosenergia iránti igény mellett a napi csúcsterhelések is évről évre egyre nagyobbodnak. Importfüggőségünket támasztja alá, hogy a napi csúcsok értéke zömmel felülmúlja az itthoni erőműpark nettó kapacitását. Hangsúlyoznám viszont, hogy a múlt évben, különösen a második felében extrém alacsonyan mozogtak az értékek, az új rezsizsabályok, valamint a megemelkedett gázárak miatt. Jövőbeni elhatározás, hogy az importarány újból 20% körül mozogjon. Ezt a sokat emlegetett hazai megújuló energiaforrások bővülése, (különösen a napenergia) és a nukleáris kapacitások megújítása mozdítja elő.

Az importfüggőség enyhítésének ellátásbiztonsági hozadéka a földgáz vonatkozásában a leginkább evidens. Ugyanis évek óta 80%-os importra kényszerülünk rá, mivel a hazai termelés a fogyasztás 20%-át biztosítja csak. Ez 2022-ben sem alakult máshogy, a felhasznált földgázt nagy arányban az Oroszországból érkező importból kaptuk. Függésünk megszüntetésére a következő törekvéses születtek, első körben 2030-ra 70%-ra csökkenteni az importot, majd következő időszakban ez alá szorítani. Illetve fontos célkitűzés a diverzifikált ellátás

megvalósítása, melyhez a szükséges import kapacitások és az országok közötti összeköttetések már elérhetőek.^{78 79}

⁷⁸ Lipták Róbert, Hadházi Tibor: A VILLAMOSENERGIA-FELHASZNÁLÁS VÁLTOZÁSA, Multidiszciplináris tudományok, 11. kötet. (2021) 3 sz. pp. 167-174, <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.3.19>, http://real.mtak.hu/164287/1/835_doi.pdf, (letöltés ideje: 2023.08.17.)

⁷⁹ Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve, 2023. évben felülvizsgált változat, Rövidített, <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/5/54/54b/54b7fc0579a1a285f81d183931bfaa7e4588b80e.pdf>, (letöltés ideje: 2023.08.18.)

7. AZ ENERGIAELLÁTÁS KIHÍVÁSAI A JÖVŐBEN

Jelen fejezetben kitérek a különböző megoldásokra, mellyel környezetkímélő, innovatív és költséghatékony energiaellátást teremhetünk. Ezen eljárások hozzájárulnak az energiahatékonyság fokozásához, önállóbb energiaellátáshoz, a kutatás-fejlesztés előmozdításához, valamint a színvonalas gazdaság és felhasználók jólétének biztosításához.

7.1. Paks II.

Az egyre fokozódó áramigények kielégítésére korszerű és karbonmentesen termelő erőművekre van szükség. Magyarország gazdaságának versenyképesen tartása létfontosságú kérdés, ehhez járul hozzá az időjárási viszonyoktól független, szüntelenül elérhető villamosenergia. Momentán, ahogy a 6.2 fejezetben is említettem a Paksi Atomerőmű a fogyasztásunk 1/3 részét fedezi. Ennélfogva a paksi új blokkok megépülése nélkül, nem jöhet létre a hosszú távú szilárd nukleáris energiatermelés.

Most, hogy látjuk, miért van szükségünk az új blokkok létesítésére, tekintsünk át érintőlegesen néhány nagyobb lépést a projekt életében.

- 2009 tavasz: Igény az új atomerőművi blokkokra. Országgyűlés döntést hoz az új projekt létesítésének megalapozására.
- 2011: Elfogadják a Nemzeti Energiastratégiát, tovább erősítette az elgondolást.
- 2012: A tevékenység érdekében megalakult egy önálló társaság az MVM Paks II. Zrt.
- 2014. január: Megszületik az egyezség a magyar miniszterelnök és orosz államfő között, a paksi telephelyen 2 új VVER-1200 típusú reaktor megvalósításáról.
- 2016: Megkapta a környezetvédelmi engedélyt.
- 2017: A telephelyengedélyt is megszerezte.
- 2020: Létesítési engedély benyújtásra került.
- 2022. augusztus 25-én: A Paksi Atomerőmű 5. és 6. blokkjának létesítési engedélyét az Országos Atomenergia Hivatal elfogadta.

A létesítési engedéllyel való rendelkezés azt jelenti, hogy tervezett blokkok építése eleget tesz a hazai jogszabályoknak, illetve a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség normáinak, biztonsági kritériumainak. További fontos engedélyek közé tartozik még az üzembe helyezési és az üzemeltetési engedély, melyek az említettekkel együtt, a létesítmény szintű engedélyek csoportjába tartozik. A telepítendő 5. és 6. blokkok a 3+ generációs reaktorfajta közé tartoznak. VVER-1200-as típusúak és a Roszatom fejlesztette ki őket. Az új blokkok kialakításánál a teljesítmény növelése mellett nagymértékű szerepet kapott a biztonság fokozása is. Ez egyrészt a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által meghatározott nukleáris biztonsági előírások

betartásával, másrészt a bekövetkezett üzemzavarokból, balesetekből levont konklúziók szem előtt tartásával valósult meg.

VVER-1200-as reaktor néhány jellemzője	
Reaktor típus	Nyomottvizes
Villamos teljesítmény	1200 MW
Termikus teljesítmény	3220 MW
Üzemanyag	U-235
Élettartam	Min. 60 év
Rendelkezésre állás	>90%
Biztonsági rendszerek	Aktív, Passzív

*14. ábra: VVER-1200 jellemzői
Szerző saját készítésű ábrája (2023.08.21.)*

Az alkalmazott biztonsági filozófia a már taglalt mélységi védelem elvén nyugszik. Az elkülönített védelmi szintek kezесkednek az esetleges eltérések, hibák gyors felismeréséről, elhárításáról. Más sajátossága az inherens biztonság. Ami a láncreakció automatikus leállítását vagy csekélyebb szintre csökkenését (szubkritikus állapot) eredményezi, a reaktor váratlan, nem elfogadható teljesítménynövekedésével, egy meghatározott szint elérésekor. Ezenkívül még az aktív és passzív biztonsági rendszerek is felelősséget vállalnak biztonságért. Az aktív biztonsági rendszereknél a redundancia elve érvényesül. Magyarán a biztonsági rendszerek további 4 térben elhatárolt alrendszerből állnak. Előnyös tulajdonságuk, hogy már egy alrendszer üzemelése is elégséges a biztonsági feladatok ellátására.

Új műszaki megoldásokat is igénybe vettek a VVER-1200 reaktornál a biztonság megerősítésére.

- Kettősfalú konténment: Belső és külső konténment, mely radioaktív anyag kikerülésének megakadályozására és külső hatástól való védelemre szolgál.
- Maradványhő elvezetése: Passzív hőelvonó rendszer, ami a leállítást követően még felszabaduló maradványhőt elvezeti.
- Hidrogénkezelés: Hidrogén-rekombinátor alkalmazása a hidrogén alacsony szinten tartására, ezáltal a balesetek megelőzésére.
- Olvadékcsapda: Reaktortartály alatt található speciális tartály, amely zónaolvadás esetén alkalmas az olvadékot befogadni, hűteni és reakció képtelenné tenni.

Mindent összevetve a Paks 2 projekt végcélja az, hogy megépüljön egy megkötésekkel összhangban álló, magas színvonalú biztonsági és műszaki berendezésekkel rendelkező erőmű.

Amely nemcsak a hosszú távú klímabarát villamosenergia-ellátást teszi lehetővé, hanem fellendíti hazánk oktatását, iparát, kereskedelmét.^{80 81 82}

⁸⁰ Paks II. ZRT.: Közérthetően a létesítési engedélyezésről, <https://www.paks2.hu/kozerthetoen-a-letesitesi-engedelyezesrol>, (letöltés ideje: 2023.08.21.)

⁸¹ Paks II. ZRT.: A projekt háttere, <https://www.paks2.hu/a-projekt-h%C3%A1tt%C3%A9re>, (letöltés ideje: 2023.08.21.)

⁸² Paks II. ZRT.: MIRE LESZ ELÉG A PAKS II. ATOMERŐMŰBEN MEGTERMELT ÁRAM?, <https://www.paks2.hu/documents/20124/93643/Sz%C3%B3r%C3%B3lap%20%E2%80%93%20Mire%20lesz%20el%C3%A9g%20a%20Paks%20II.%20Atomer%C5%91m%C5%B1ben%20megtermelt%20%C3%A1ram.pdf/19d1fd0f-8c92-4ebf-11ce-3a9996d3e997>, (letöltés ideje: 2023.08.21.)

7.2. Rövid távú cél az árstabilitás elérése

Európának meg kell birkóznia az éghajlatváltozás adta nehézségekkel, illetve könnyen elérhető, szilárd energiaellátást kell szolgáltatnia. Az európai villamosenergia-ipar ellenálló és versenyképességének, valamint a háztartások vásárlóerejének megtartása szempontjából, nélkülözhetetlen az energiaárak finanszírozhatósága és stabilitása. Az energiaárak változékonyságának megállítása elsődleges az uniós energiapiac stabilitása érdekében. Ezt pedig nem más mozdítja elő, mint az atomenergia. Nagy előnye, hogy nincs kihatással az azonnali árampiaci árakra, ugyanis a villamosenergia árakat bekapcsolási rendben determinálják. Ebből következik, hogy a sereghajtó erőmű, ami az esetek többségében a szén vagy a gáz, szabja meg a piaci energiaárakat.



15. ábra: Árampiaci árak alakulása

Forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>, (letöltés ideje: 2023.08.23.)

Továbbá az atomerőművek alapterhelésű erőművek, mivel alkalmasak hosszú ideig szüntelenül jelentős volumenű energiát termelni. Illetőleg a fosszilis erőműveknél csekélyebb mennyiségű szén-dioxidot kibocsátani. Ezért a határköltségei is fixek és alacsonyabbak, ugyanis a szén-dioxid-árak kiegyensúlyozatlansága nem vonatkozik rájuk. Vitathatatlan, hogy az atomenergia beruházási költségei igen tetemesek, ugyanakkor a kedvező működési költségei ellensúlyozzák ezt. Éppen ezért a meglévő erőforrásokat alkalmazni kell, illetve üzemidejüket meghosszabbítani a piac megerősítésére. Tudniillik a klímasemlegességre való átpártolás legkedvezőbb megoldása a nukleáris erőművek hosszú távú működtetése. Az Európai Gazdasági és Szociális Bizottság (EGSZB) középpontba állítja a nukleáris energia árstabilitásának másik fontos komponensét, melyet az üzemanyag-ellátás stabilitása jelent.

Hiszen nem igényelnek nagy tárolókapacitást, valamint 3-5 évre elegendő üzemanyagot gond nélkül el tudnak raktározni. Ebből kifolyólag lehetőség adódik optimális áron fűtőanyagot vásárolni, avagy szállítót váltani. Az aktuális energiapiaci helyzet hatással van az urán árára is, azonban a helyzet orvoslására több megoldás is kínálkozik. Egyrészt a többféle szállítótól való beszerzés, másrészt hosszú távon a ritkább fűtőanyagcserét igénylő erőművek előnyben részesítése.

Az energiaellátás bizonytalanságát és az energiaárak ingadozását a több mint egy éve zajló háború befolyásolja. A konfliktusból fakadó többletköltségek, mellesleg az energiaárak emelkedésére is kihatással vannak. Itt szeretnék kitérni az energiapiac állapotára, melyre az energiaválság romboló hatással volt. Egyrészt a megemelkedett energiaárak visszatartása, másrészt pedig a kereslet korlátozására orientált beavatkozások következtében. Kiemelten fontos az energiaellátással összefüggésben álló helyzet orvoslása, ugyanis ennek elmaradása súlyosbíthatja az árak növekedését. Megvalósítható például a meglévő atomerőművek újraindításával vagy olyan energiaforrásokból, melyek kiterjedtebb kínálattal rendelkeznek, stabilak és kis szén-dioxid kibocsátásúak. Ezen megoldások jelentős hatást gyakorolnak az árstabilitás és az energiaellátás egyensúlyára.

Az Európai Unió két részletben szeretné megvalósítani az árstabilitás elérését. Első körben a cél az, hogy enyhítse az Oroszországtól való függőséget, majd pedig teljesen megszüntesse azt. Az imént említett terv véghezvitele továbbá elősegítené az ellenállóbb energiarendszer kialakítását és ösztönözné a tiszta energiára való átállást. Mindezek eléréséhez reális és ésszerű döntés az atomerőművek élettartamának meghosszabbítása. Ugyanis

- a gázfogyasztás és
- az árak volatilitásának mérsékléséhez, valamint
- a karbonsemleges gazdaságra való áttéréshez is hozzájárul.

Tény és való, hogy fontos a gazdaság klímasemlegességre való átállása, azonban az éghajlatvédelemi átállásnak összhangba kell lennie az energiaárak megfizethetőségével és az ellátásbiztonsággal. Így hát, az EGSZB úgy véli, hogy a közeljövőben az importfüggőség enyhítésére irányuló a küldetések élveznek prioritás.⁸³

⁸³ Alena MASTANTUONO: Az Európai Gazdasági és Szociális Bizottság véleménye – Az atomenergia szerepe az uniós energiaárak stabilitásában, Az Európai Unió Hivatalos Lapja, C 486/102, 2022.12.21., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A52022AE1184&fbclid=IwAR1n4gn6lmCnSUyPbZ0vE0c84J3elTJUiesRHNxdifoMzu9eGYPKd1Zfv6k>, (letöltés ideje: 2023.08.23.)

7.3. Hosszú távú cél a klímasemlegesség elérése

A világ új próbatétel előtt áll, cél az éghajlatváltozás hatásainak enyhítése. Ehhez a villamosenergia-ágazat mélyreható dekarbonizációjára van szükség, vagyis az üvegházhatást okozó gázok (szén-dioxid, ózon, metán) kibocsátásának csökkentése. Ezzel összhangban, azonban az energiához való hozzáférést és a gazdasági lehetőségeket is bővíteni kell. Az éghajlatváltozás a Föld éghajlati rendszerének irreverzibilis átalakulását idézi elő, mely egyre inkább kihat a jövő generációira. A Föld éghajlati rendszere az üvegházhatású gázok, különösen a szén-dioxid kibocsátás növekvő koncentrációja miatt melegszik, amely elsősorban az energiaágazatban elégetett fosszilis tüzelőanyagokból ered. A tanulmányok azt mutatják, hogy a különböző kibocsátás csökkentési lehetőségekkel képesek vagyunk elérni vagy meghaladni a széles körben elfogadott 2050-es célt. Azaz a globális felmelegedés jócskán 2°C alatt, legjobb esetben 1,5 °C -ra történő korlátozását. A 2015 decemberében aláírt Párizsi Megállapodás megerősítette ezt a célt, illetve jelentős mérföldkövet jelentett a klímaváltozás elleni küzdelemre irányuló összehangolt erőfeszítésekben. Pillanatnyilag az energiahatékonysági és energiatakarékossági intézkedéseket alkalmazzák az energiaigény csökkentésének és ezáltal a szén-dioxid-kibocsátás mérséklésének költséghatékony módszereként. Ezen műveletek, azonban nem elegendők a globális kibocsátás jelentős mérsékléséhez. Az atomenergia egyike azoknak a ma rendelkezésre álló energiaforrásoknak és technológiáknak, amelyek környezetbarát módon járulhatnak hozzá a kitűzött cél eléréséhez. Ezenkívül más alacsony szén-dioxid-kibocsátású technológiák is fontos szerepet játszanak abban, hogy a világot erre az erőteljes kibocsátáscsökkentési útra tereljük. Nemzeti adottságoktól és körülményektől függ az energiaágazat szén-dioxid-mentesítésre és az alternatív energiaforrások biztosítására való képesség. Például egy ország gazdasági fejlettségi szintjétől, olcsó hazai fosszilis erőforrások elérhetőségétől, a megújuló energia felhasználásának lehetőségétől, illetve a meglévő vagy javasolt normáktól.^{84 85}

Továbbiakban tisztázni szeretném a karbonsemlegesség/klímasemlegesség és a dekarbonizáció szavakat.

⁸⁴ Massachusetts Institute of Technology: The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World, 2018, <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

⁸⁵ International Atomic Energy Agency: Nuclear Power and Sustainable Development, VIENNA, 2016 <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1754web-26894285.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

Karbonsemlegesség/Klímasemlegesség	Dekarbonizáció
Olyan állapot, amikor az üvegházhatású gázok kibocsátása és elnyelése között egyensúly van. A teljes karbonlábnyom pedig effektíve nulla. ⁸⁶	Alacsony, majd nulla üvegházhatású gázt kibocsátó gazdaságra való átállás. ⁸⁷

Hazánk vonatkozásában az mondható el, hogy 2018. októberében az országgyűlés elfogadta a Nemzeti Energia és Klímatervet. Valamint a 3D elvet tűzte ki célul a villamosenergia-szektor korszerűsítésére. A 3D komponensei nem más, mint a dekarbonizáció azaz karbonmentesítés, a digitalizáció vagyis a digitális technológiák térhódítása. Illetve az ipari és háztartási méretű megújuló termelés elterjedése, a decentralizáció. A világ üvegházhatású gáz emissziójának nagyjából 0,1%-át, míg az Európai Unió kibocsátásainak csupán 1%-át teszi ki Magyarország. A klímasemlegesség megvalósítására a következő irányvonalat követi országunk. Első ütemben 1990-hez mérten 2030-ig minimum felére, majd második ütemben immáron 2050-ig 95%-kal redukálni az üvegházhatású gázok kibocsátását.

Az előbb felvázolt terv véghezviteléhez a következő lépésekre lesz szükség. Melyeknek főként 2030-ig kell beteljesednie.

- A legfőbb dekarbonizációs törekvés az, hogy a lignittüzelésű Mátrai Erőművet az új erőmű üzembe helyezéséig mérsékeltebb szén-dioxid-kibocsátású technológiákra állítsák át.
- A megújuló energiaforrások hányadának növelése közel 30%-ra.
- A mostani körülbelül 5000 MW naperőművi kapacitás kiterjesztése 12000 MW-ra.
- Figyelembe véve hazánk kedvező adottságait, a geotermikus hőenergia intenzívebb és szélesebb körű kihasználására hangsúlyt kell fektetni.
- Egyes vélekedések szerint, a biomassza alapú termelés dominánsabbá válhat, ugyanis, ha a szén-dioxid megkötéssel kibővül, akkor egyszerre lesz képes villamos energiát termelni és CO₂ megkötni.

⁸⁶ Másfelfok: karbonsemlegesség (carbon neutrality) / klímasemlegesség, <https://masfelfok.hu/klimaszotar/#alphabet-item-K>, (letöltés ideje: 2023.08.25.)

⁸⁷ Másfelfok: dekarbonizáció, <https://masfelfok.hu/klimaszotar/#alphabet-item-D>, (letöltés ideje: 2023.08.25.)

Ezen koncepcióval Magyarország lépésről lépésre, 2050-ig klímasemleges országgá fejlődhet, teljesítve a 2015-ben elfogadott párizsi klímaegyezményben tett kötelezettségeit. Mindeközben a társadalmi jólétet és a gazdasági fellendülést sem sodorja veszélybe.^{88 89 90}

⁸⁸ Innovációs és Technológiai Minisztérium: Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig, <https://www.banyasz.hu/images/klimapolitika/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030.pdf>, (letöltés ideje: 2023.07.02.)

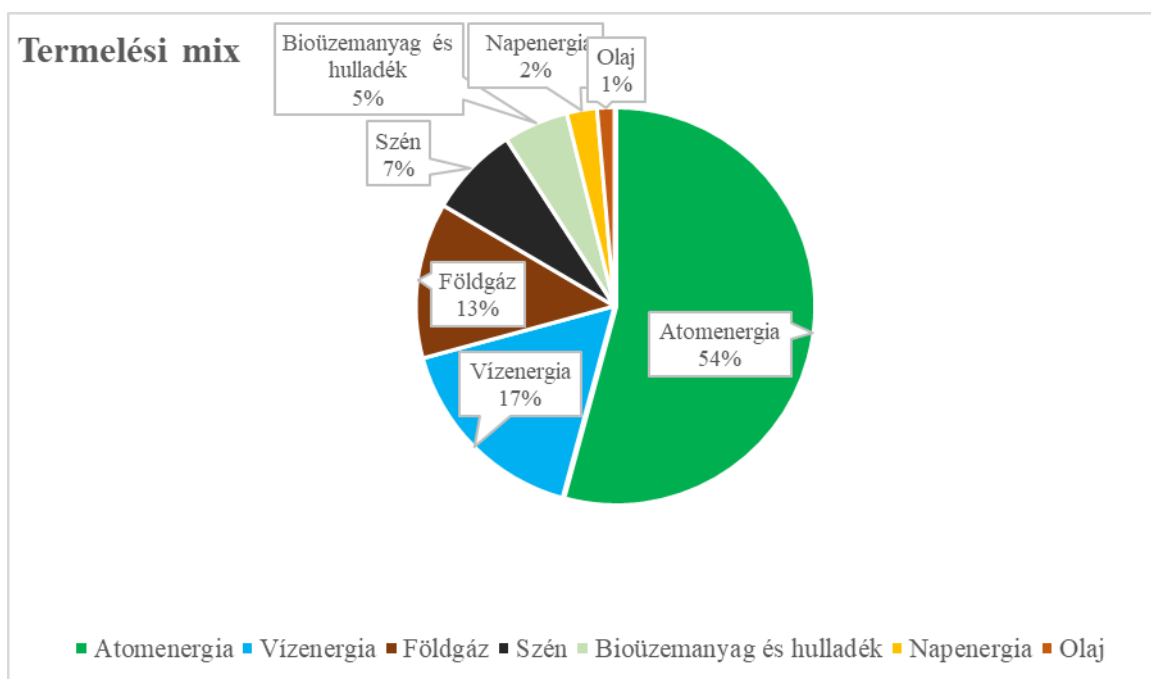
⁸⁹ MEZŐSI ANDRÁS–RÁCZ VIKTOR: A klímasemlegesség ára Az üvegházhatású gázok csökkentésének költségbecslése HU-TIMES modellel, KÖZGAZDASÁGI SZEMLE, LXX. ÉVF., 2023. JANUÁR (55–81. o.), (letöltés ideje: 2023.08.26.)

⁹⁰ Technológiai és Ipari Minisztérium: EGYÜTTMŰKÖDÉSBEN A KÖRNYEZETÜNKÉRT, 5. Nemzeti Környezetvédelmi Program 2026-ig szóló szakpolitikai stratégia, 2022, https://njt.hu/document/e2/e2b4EJR_570563-2X08424.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02.)

7.4. Külföldi kitekintés

Magyarország szomszédságában található Szlovákia rövidesen atomenergia hatalommá nőheti ki magát. Ehhez szükség van egy jól behatárolt energiapolitikára, melyben megfogalmazásra kerülnek az ágazattal kapcsolatos stratégiák, célkitűzések mind rövid és mind pedig hosszú távon. Az energiapolitika megalkotása számtalan dologhoz járul hozzá. Kezdve a fenntartható gazdasági növekedéshez, melynek előfeltétele az optimális költségű energia, az energiaellátás kiszámíthatóságának és stabilitásának garantálása. Továbbá a hatékony energiafelhasználás, a környezetvédelem és végső soron az energiapiac stabil kereteinek megteremtése.

A 2020-as évi rendelkezésre álló adatok szerint Szlovákia teljes villamosenergia-termelése 28,6 TWh volt. Mely a következő módon alakult.



16. ábra: Szlovákia villamosenergia-termelésének alakulása (Az értékek TWh-ban értendők)
Szerző saját készítésű ábrája (2023.08.27.)

A diagram alapján megállapítható, hogy az ország villamos energiájának több mint felét az atomenergia tette ki. 2023-ban ez a szám megközelíti a 60%-ot, 16 TWh-át. A szlovák kormány elkötelezett az atomenergia jövője iránt, ezt demonstrálja a rendelkezésre álló 5 atomreaktor (2308 MWe), valamint a még épül (440 MWe), illetve az előkészítés szakaszában lévő blokk.

Működő reaktorok

- Bohunice 3 (466 MWe)
- Bohunice 4 (466 MWe)
- Mochovce 1 (467 MWe)
- Mochovce 2 (469 MWe)
- Mochovce 3 (440 MWe)

Épülő

- Mochovce 4

További tervezett

- Bohunice 5

Ami a villamosenergia-fogyasztását illeti, 2020-ben 23,8 TWh volt. Az általam elemzett statisztikából megfigyelhető, hogy az elmúlt évtizedekben a görbe egyenletesen mozgott, nem igazán fordult elő kiugróan magas vagy alacsony érték. A szakemberek a jövő távlatában 1,23%-os villamosenergia-fogyasztás emelkedést kalkulálnak az ország vonatkozásában.

Köszönhetően az említett becsatlakozó blokkoknak Szlovákia újonnan villamosenergia exportőrrországgá válhat. Korábbi fejezetben (6.3. Energiafüggőség) már kitértem arra, hogy a határkeresztező kapacitások kiterjedésének köszönhetően jelentősen megugrott Magyarország felé érkező export száma.

A Szlovák Villamosművek (Slovenské Elektrárne) az ország legnagyobb villamosenergia-termelője. A cég célul tűzte ki a biztonságos, megbízható, hatékony és versenyképes villamosenergia-termelést és a radioaktív hulladékok biztonságos kezelését, valamint a környezetterhelés csökkentését a termelési folyamatok során. Ezt mi sem bizonyítja jobban, mint az, hogy 2022-ben a villamos energia 95%-át helyi szén-dioxid-kibocsátás nélkül szolgáltatta a hálózatba.⁹¹

A zajló háború miatt az orosz eredetű üzemanyag helyett alternatív beszállítókat keresnek az országok, Szlovákia sem tett másként. Megállapodást írt alá az amerikai Westinghouse céggel a nukleáris üzemanyag szállítással kapcsolatban. Az egyezség célja a VVER 440 típusú atomerőművek diverzifikált üzemanyag-ellátása, mely hozzájárul az energiabiztonság megerősítéséhez. A többretű nukleáris üzemanyag ellátás érdekében a Szlovák Villamosművek támogatja a különböző kezdeményezéseket, például a francia Framatome-mal is partnerséget kötött.^{92 93 94 95 96}

⁹¹ Slovenské Elektrárne: About us, <https://www.seas.sk/en/about-us/>, (letöltés ideje 2023.09.03.)

⁹² Slovenské Elektrárne: Strengthening Slovakia's energy security: Slovenské elektrárne concluded a fuel supply agreement with Westinghouse, <https://www.seas.sk/en/press-releases/slovenske-elektrarne-nuclear-fuel-westinghouse/>, (letöltés ideje:2023.09.02.)

⁹³ World Nuclear Association: Nuclear Power in Slovakia, <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/slovakia.aspx>, (letöltés ideje: 2023.08.27.)

⁹⁴ International Atomic Energy Agency: Country Nuclear Power Profiles2022 Edition, SLOVAKIA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Slovakia/Slovakia.htm>, (letöltés ideje: 2023.08.27.)

⁹⁵ World Nuclear Association: Reactor Database Search, https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/reactor-database-data/reactor-database-search.aspx?source=%7B%22query%22%3A%7B%22query_string%22%3A%7B%22query%22%3A%22slovakia%22%2C%22default_operator%22%3A%22AND%22%7D%7D%2C%22size%22%3A25%2C%22sort%22%3A%5B%7B%22index.sort_name.exact%22%3A%7B%22order%22%3A%22asc%22%7D%7D%5D%7D, (letöltés ideje 2023.09.03.)

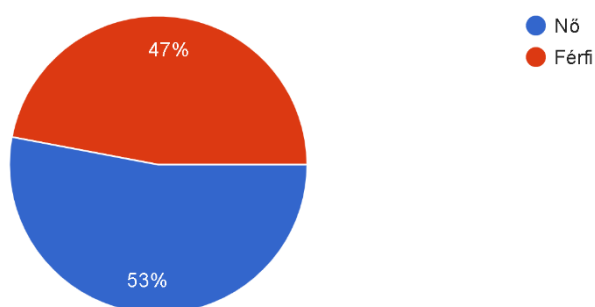
⁹⁶ Dr. Hegedűs Krisztina, Dr. Hugyecz Attila: SZLOVÁKIA VILLAMOSENERGIA-HELYZETE, 2021. december 2, <https://www.paks2.hu/documents/20124/286244/Elemz%C5%91%20percek%20095.%20r%C3%A9sz%20-%202021.%2012.%2002.%20-%20Szlov%C3%A1kia.pdf/05bac06d-eeb7-1de1-4fb0-39a70bf26ee2>, (letöltés ideje 2023.09.03.)

8. NUKLEÁRIS ENERGIATERMELÉSEL KAPCSOLATOS KÉRDÉSSOR FELDOLGOZÁSA

Jelen fejezetben a 20 kérdésből álló kérdőív eredményeinek kiértékelését fogom elvégezni. A kétételes online kitöltési időszakban 151 személy vett részt kitöltésében. Az általam végiggondolt kérdésekből szerettem volna képet kapni arról, hogy a lakosság mennyire jártas a témában, illetve, hogy hogyan vélekednek egyes kérdésekről. Természetesen a kapott válaszok nem reprezentatívak, csupán csak az emberek egy szegmensének álláspontját tükrözi.

Az Ön neme:

151 válasz



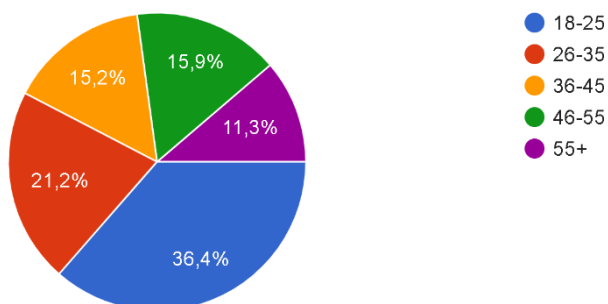
17. ábra: Nemek szerinti megoszlás

A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A nemek szerinti megoszlás alapján megállapítható, hogy a női kitöltők magasabb létszámban voltak jelen, mint a férfiak.

Az Ön életkora:

151 válasz



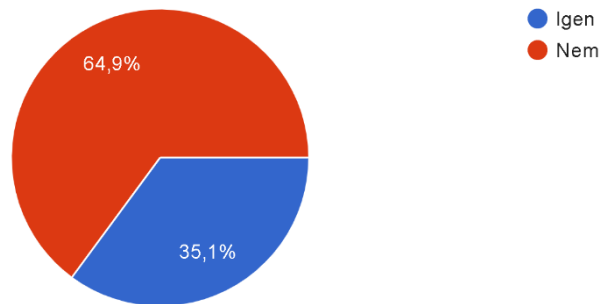
18. ábra: Életkor szerinti megoszlás

A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Elmondható, hogy a 18-25 év közötti személyek mutatták a legnagyobb érdeklődést a téma iránt, őket követték a 26-35 év közöttiek, míg a maradék korosztályról az mondható el, hogy hasonló arányban vettek részt a kutatásban.

1. Ön szokott tájékozódni a nukleáris energiával kapcsolatos kérdésekben?

151 válasz

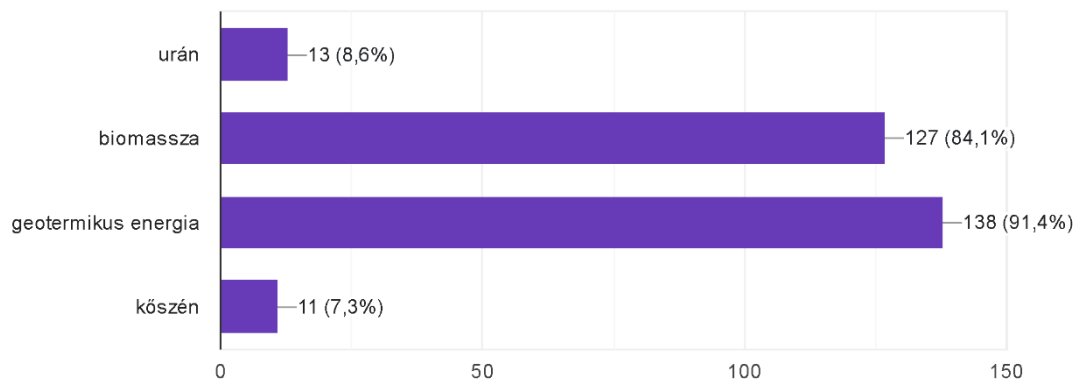


19. ábra: Nukleáris energiával kapcsolatos kérdés
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Az első kérdésből kiderült, hogy az emberek túlnyomó többsége nem informálódik a nukleáris energiával kapcsolatban.

2. Válassza ki a megújuló energiaforrásokat! (Több válasz is lehetséges)

151 válasz

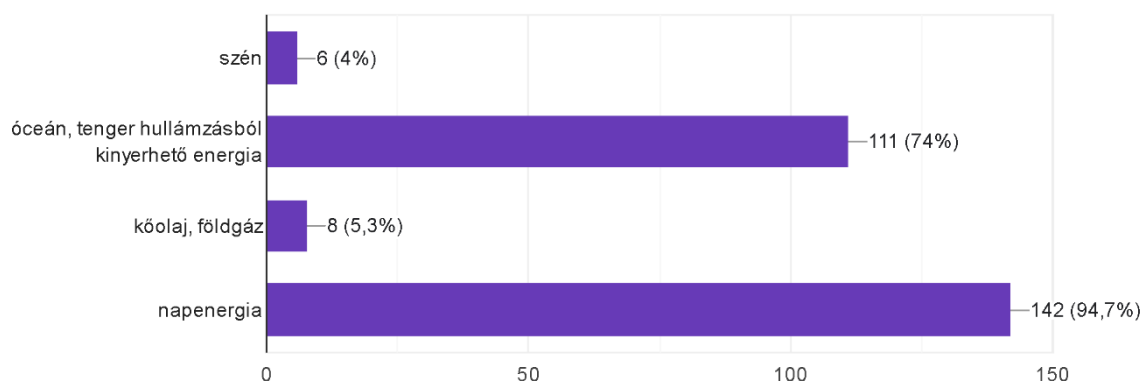


20. ábra: Megújuló energiaforrások
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A következő kérdésre érkezett válaszokból láthatjuk, hogy a kitöltők zöme tisztában vannak a megújuló energiaforrásokkal.

3. Milyen alternatív megoldásokat javasolna az atomenergia alkalmazása helyett? (Több válasz is lehetséges)

150 válasz

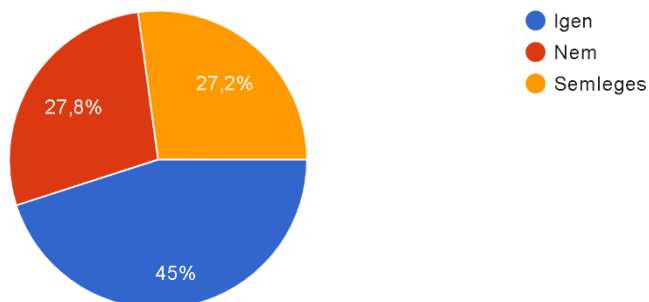


21. ábra: Alternatív megoldások az atomenergia helyett
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Megerősítve az előző állításomat, látszik, hogy az emberek bizonyos szintű tudással rendelkeznek a témával kapcsolatban.

4. Veszélyesnek ítéli meg az atomerőműveket?

151 válasz

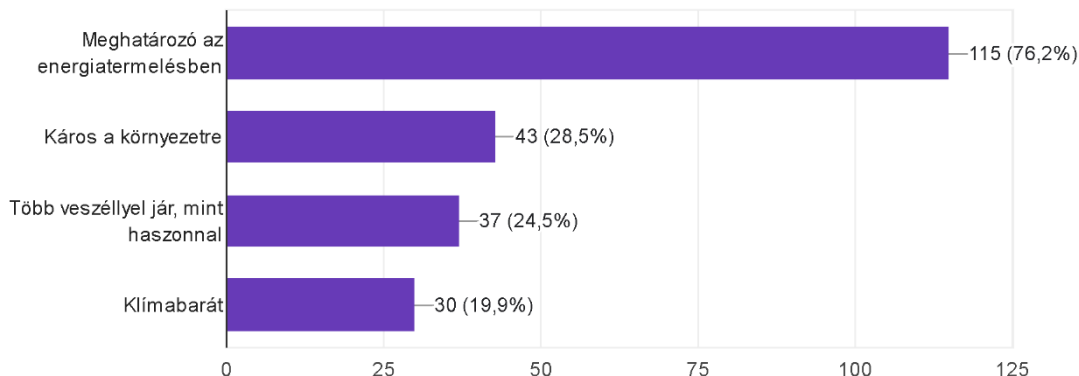


22. ábra: Atomerőművek megítélése
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A válaszadók többsége veszélyesnek tartja az atomerőműveket, úgy gondolom, hogy ez abból fakad, hogy nem rendelkeznek elegendő információval róluk.

5. Mit gondol az atomerőművekről? (Több válasz is lehetséges)

151 válasz

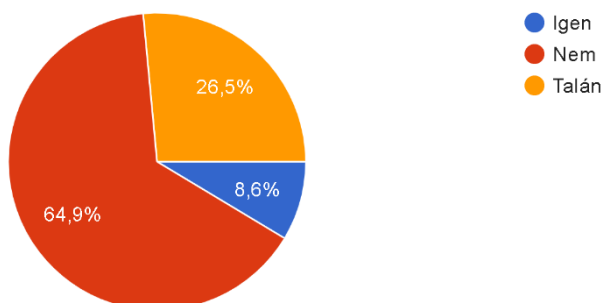


23. ábra: Gondolatok az atomerőművekről
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A megkérdezettek közel 80% úgy gondolja, hogy az atomerőművek mérvadóak az energiatermelésben, viszont sajnálatos, hogy a másik előnyös tulajdonságát (klímabarát) nem sokan ismerik.

6. Ön lakna egy atomerőmű közvetlen közelében?

151 válasz

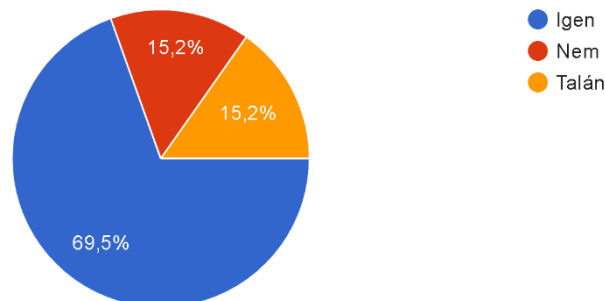


24. ábra: Ön lakna egy atomerőmű közvetlen közelében
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A válaszadók nagy százalékban arra szavaztak, hogy nem lagnának az atomerőművek közelében. Bizonyára ez annak tudható be, hogy tartanak az általuk hordozott veszélyektől.

7. Ha lehetősége adódna, Ön részt venne egy látogatáson a Paksi Atomerőműben, ahol alaposabban megismerhetné a működését?

151 válasz

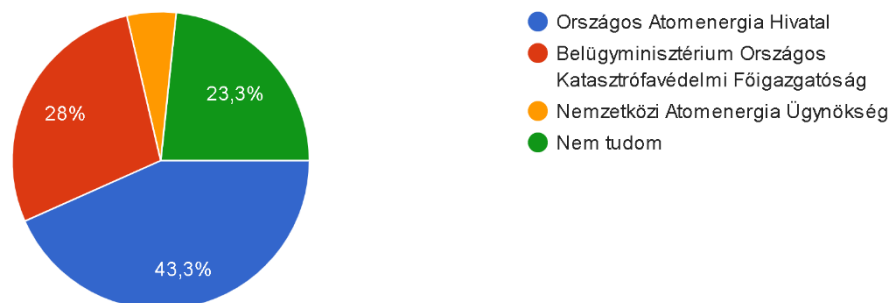


25. ábra: Paksi Atomerőmű látogatása, megismerése
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Az emberek többsége szívesen bővítené ismeretét a Paksi Atomerőművel kapcsolatban. Ami véleményem szerint pozitív dolog, ugyanis így hiteles információ birtokába jutnának, ezáltal a sokszor téves megítélésük pozitív irányba mozdulna el.

8. Ön szerint hazánkban az alábbiak közül melyik az atomenergia felügyeleti szerve?

150 válasz

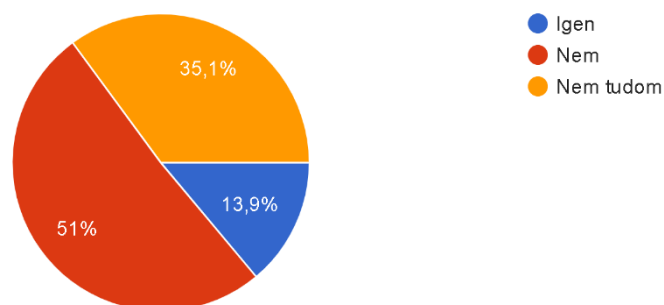


26. ábra: Atomenergia felügyeleti szerve
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A kitöltők kevesebb, mint fele tudja, hogy mely szerv az atomenergia felügyeleti szerve.

9. Véleménye szerint a Paksi Atomerőműben olyan típusú reaktor van, mint amilyen Csernobilban üzemelt?

151 válasz

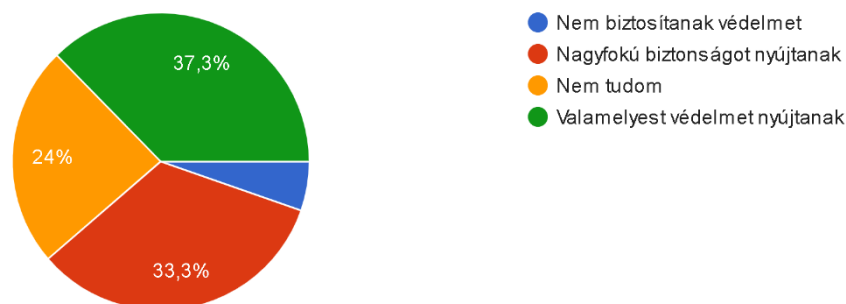


27. ábra: Reaktor típussal kapcsolatos kérdés
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A válaszadók fele helyesen vélekedik arról, hogy a két atomerőműben különböző típusú reaktor található.

10. Mit gondol egy természeti katasztrófával és egyéb külső tényezővel szemben mennyire ellenállóak a modern, új generációs atomerőművek?

150 válasz

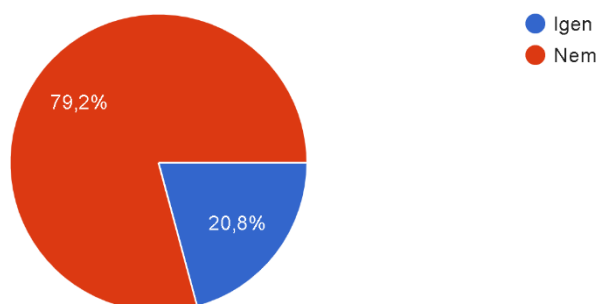


28. ábra: Modern atomerőművek ellenállósága
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Az emberek közel azonos százalékkal úgy ítélték meg, hogy az új generációs technológiák képesek, (egyesek szerint némileg, míg mások szerint nagymértékben) biztonságot nyújtani számunkra a külső tényezőkkel és természeti katasztrófákkal szemben.

11. Hallott-e már a Kína szindróma kifejezésről?

149 válasz

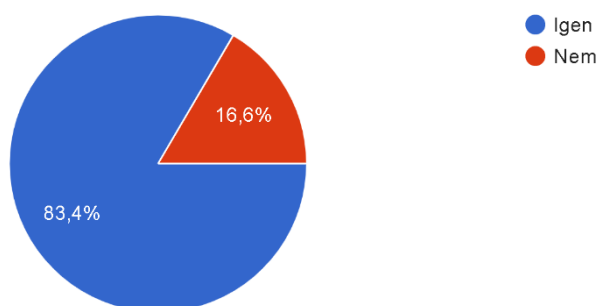


29. ábra: Kína szindróma fogalom ismerete
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A kitöltő személyek javarészt nem hallottak a Kína szindróma kifejezésről.

12. Látott-e már atomerőművi balesettel kapcsolatos filmet vagy sorozatot?

151 válasz

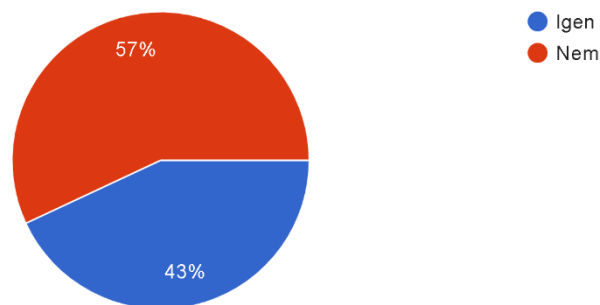


30. ábra: Atomerőművi balesettel kapcsolatos filmek, sorozatok nézettsége
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Valamennyien a válaszadók közül, láttak már egy atomerőművi balesetet feldolgozó filmet vagy sorozatot.

13. Ön hallott már a katasztrófavédelem nukleárisbaleset-elhárítással kapcsolatos feladatairól?

151 válasz

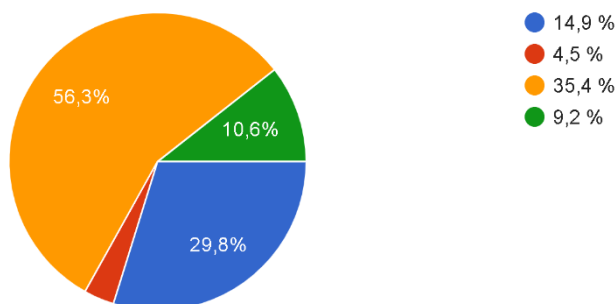


31. ábra: Katasztrófavédelem nukleárisbaleset-elhárítással kapcsolatos feladatai
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A többség nem hallott még a katasztrófavédelem ezen feladatairól, viszont nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy relatíve magas százalékban hallottak már róla.

14. Véleménye szerint 2022-ben a villamos energia hány százalékát állították elő nukleáris energiából a világon?

151 válasz

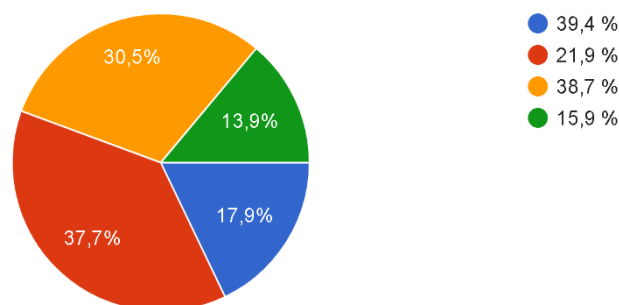


32. ábra: Nukleáris energiából előállított villamos energia aránya a világon
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Mindösszesen 16-an tudták a helyes választ, az emberek úgy vélekedtek, hogy a nukleáris energia magasabb százalékban járul hozzá a világ villamosenergia-termeléséhez.

15. Mit gondol az Európai Unióban a villamos energia hány százalékát termelték nukleáris energiából 2022-ben?

151 válasz

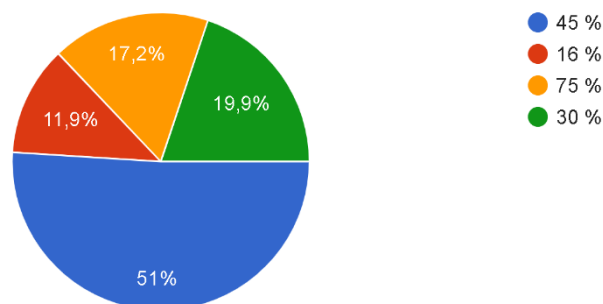


33. ábra: Nukleáris energiából termelt villamos energia aránya az EU-ban
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A megkérdezettek 37,7%-a jelölte a helyes választ, azonban megfigyelhető, hogy a beérkezett válaszok megoszlását tekintve nem voltak kiugróan magas különbségek.

16. Ön szerint a hazai villamosenergia termeléshez a Paksi Atomerőmű hány százalékkal járult hozzá 2022-ben?

151 válasz

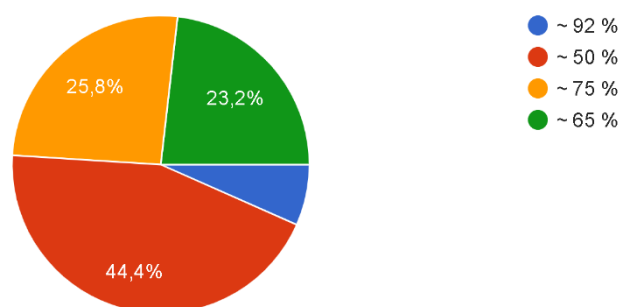


34. ábra: Paksi Atomerőmű szerepe a villamosenergia-termelésben
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A kitöltők fele megfelelő választ adott a Paksi Atomerőmű termelését érintő kérdésre.

17. Ön szerint a Magyarországon megtermelt energia fogyasztásunk hány százalékát fedezte a tavalyi évben?

151 válasz

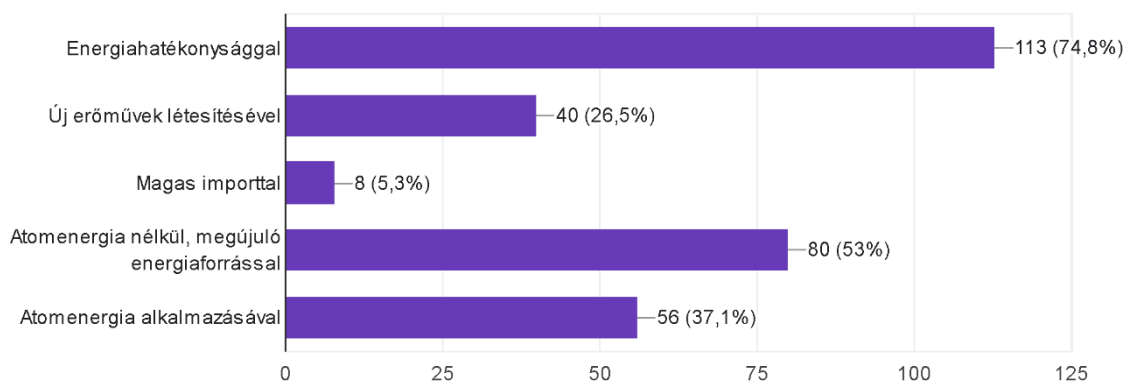


35. ábra: Mennyire elégíti ki az energiatermelésünk a fogyasztásunkat
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Az emberek közel fele, úgy feltételezte, hogy a termelésünk csekély mértékben képes kielegíteni a fogyasztásunkat. Meglátásom szerint, ehhez az állásponthoz az alapvetően helytelenül megjelenő cikkek, híradások járulnak hozzá, ugyanis legtöbbször csak azt hallani, hogy magas az import arányunk, viszont ez konkrét számadatokkal nincs alátámasztva.

18. Az ellátásbiztonságot Ön szerint, hogyan biztosíthatjuk országunk számára előnyösen? (Több válasz is lehetséges)

151 válasz

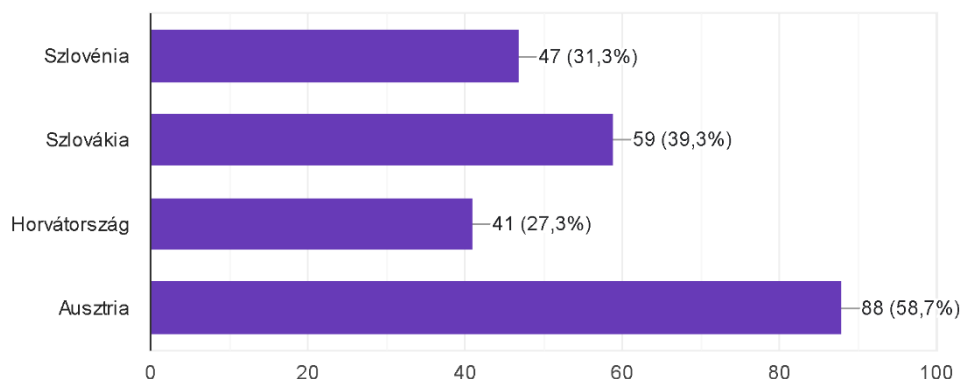


36. ábra: Ellátásbiztonság biztosításának módozatai
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Megkérdezettek nagy százaléka jól ítélte meg, hogy az energiahatékonyság fontos tényező, azonban sokan úgy gondolják, hogy önmagában a megújuló energiaforrások elegendőek az ellátásbiztonsághoz. Viszont ezt tévesen tudják, mivel csakis az atomenergiával való együttes használata járul hozzá a kellő ellátottsághoz.

19. Többnyire honnan importál villamos energiát Magyarország? (Több válasz is lehetséges)

150 válasz

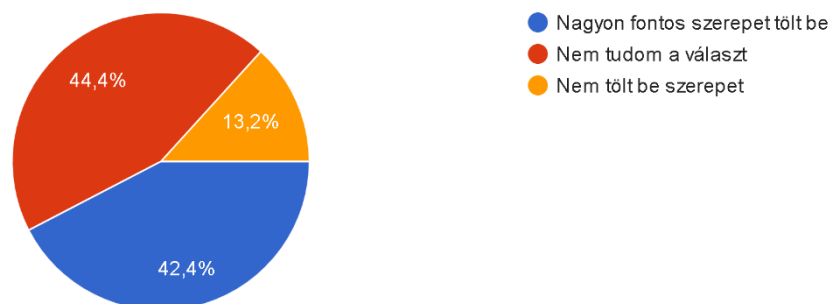


37. ábra: Honnan importál villamos energiát hazánk
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

A válaszadók nagy része Ausztriát, majd Szlovákiát jelölte, ahonnan villamos energia érkezik be az országunkba.

20. Véleménye szerint a szén-dioxid és más üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében Paks II. megépülése mennyire fontos szerepet tölt be?

151 válasz

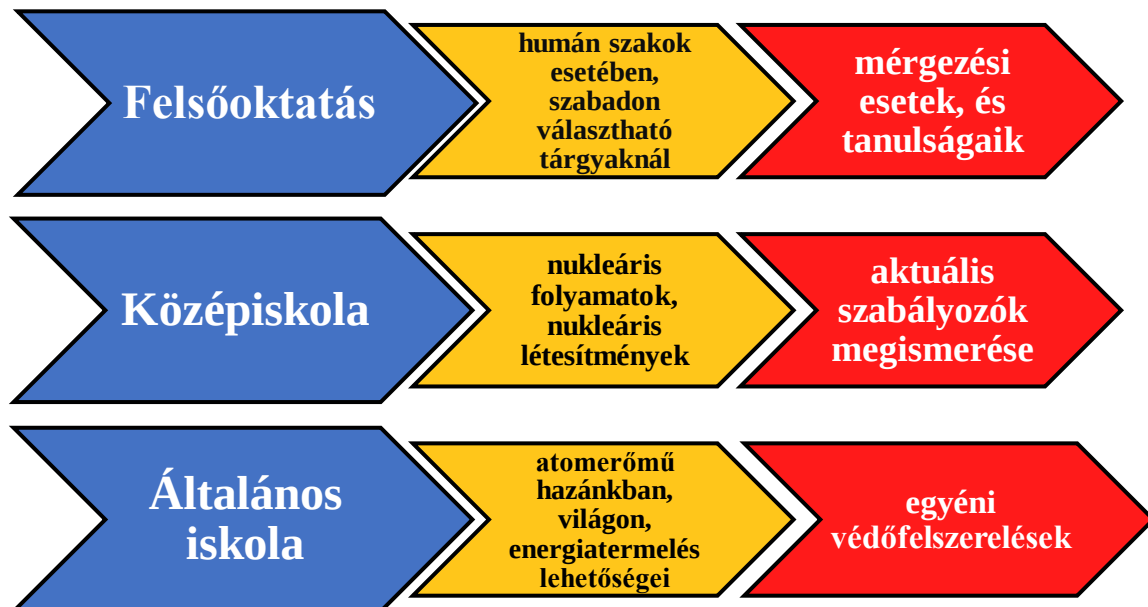


38. ábra: Paks II megépülésének szerepe
A szerző saját kutatása (2023.09.08.)

Egyesek szerint nagyon fontos szerepet tölt be, amit helyesen feltételeznek. Azon kitöltők, akik a „nem tudom a választ” jelölték, feltételezhetően nincsenek tisztában azzal, hogy az atomerőművek klímabarát létesítmények, nem bocsátanak ki üvegházhatású gázok.

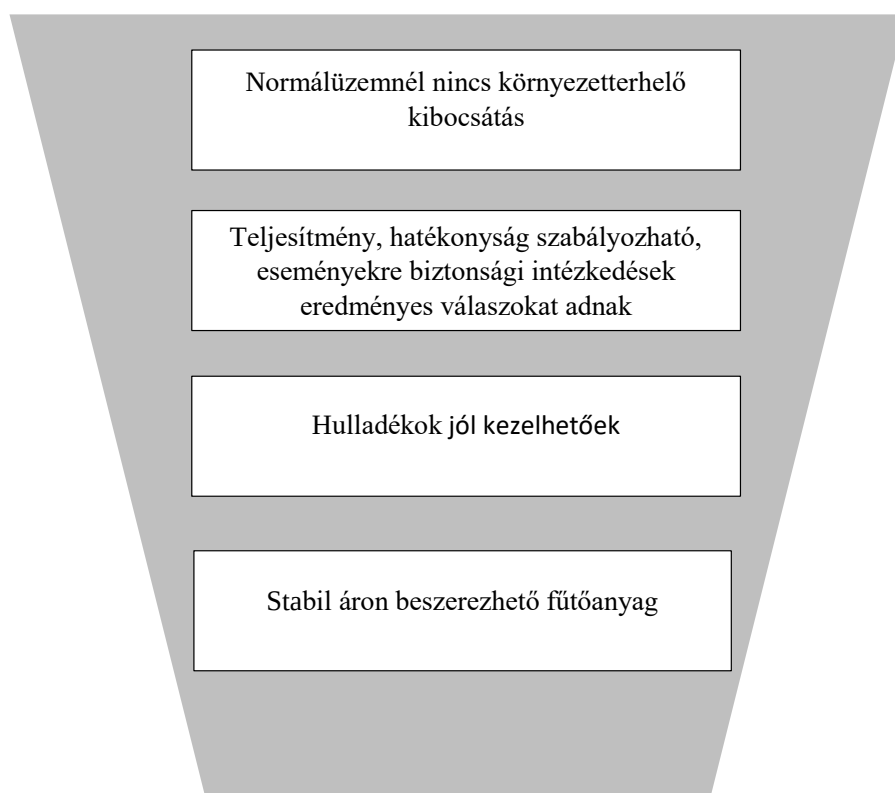
9. JAVASLATAIM

A dolgozatommal kapcsolatban a következő javaslatokat szeretném megtenni. Elsőként, úgy gondolom, fiatalabb korban el kellene kezdeni megismerkedni a témával. Ugyanis az energiatermelés kérdésköre mindig is egy napirenden lévő pont, a ma meghozott döntések kihatással lesznek a jövő nemzedékére is. Éppen ezért indokolt lenne, hogy a gyerekeket időben felkészítsük és megértessük velük apránként, hogy miért is fontos például a megújuló energiaforrások használta vagy a biztonságos energiatermelés. Javaslatom szerint az általános iskolában a környezetismeret óra keretében lehetne játékos formában általánosabb információkat nyújtani a gyermekek számára. Különleges óra keretében, a katasztrófavédelem munkatársa látogatást tehetne, és előadást tarthatna interaktív módon alsó illetve felső osztályokban egyaránt. Illetve, valamilyen iskolai nap keretében, ha lehetőség van rá a gépjárműfecskendő mellett a katasztrófavédelmi mobil labor (KML) bemutatásra is sor kerülhetne. Középiskolában természettudományos óra alkalmával a száraz, tömény anyagot esetleg erőművekbe, vagy a Paksi Atomerőmű látogatóközpontjába tett kirándulással, illetve csoportmunkával például makettkészítéssel lehetne színesíteni. Továbbá a megrendezésre kerülő katasztrófavédelmi ifjúsági versenyeken egy külön állomást lehetne készíteni, ahol egy nukleáris balesetet szimulálnának és a résztvevő csapatoknak a szükséges lakosságvédelmi óvintézkedések megtételéről kellene számot adniuk. Felsőoktatásban gyakorlatiasabb óra megvalósulása érdekében, az anyag elsajátítása mellett külföldi balesetek esettanulmányainak feldolgozására is sor kerülhetne. Valamint a nukleáris létesítmények látogatása és részletes, szakmai szintű bemutatása is a hallgatók javára válna.



39. ábra: Nukleáris energiatermelés fontosságának oktatási lehetőségei
Szerző saját készítésű ábrája (2023.09.12.)

Második javaslatom pedig az lenne, hogy a nukleáris energiatermelés előnyeit jobban előtérbe kellene helyezni. Úgy gondolom, hogy túlságosan elbillen a mérleg a negatív irányba a megítélésénél, sokkal több szó esik a hátrányairól és veszélyeiről, mint a pozitív hozadékaikról. Ez abból a szempontból sem kedvező, hogy a lakosság vegyes érzelmeit eloszlassuk és meggyőzzük őket az atomenergia jelentőségéről. Szükséges lenne több olyan tanulmányra, ahol párhuzamba állítjuk a nukleáris energiatermelést a fosszilis energiahordozók működésével. Következőekben szeretném kiemelni néhány kedvező sajátosságát a nukleáris energiatermelésnek. Az atomerőművek teljesítmény kihasználtsága sokkal magasabb, közel 100%, míg a fosszilis energiahordozóké csak 10-40% között alakul. Az is megfigyelhető, hogy a reaktorok 14 hónapos üzemeltetési ciklusban működnek, ami szintén a hatékonyságát bizonyítja. Jellemzi még az is, hogy jobban tervezhetőek a költségek a nem megújulókkal szemben. Az atomerőművek építési és beruházási költségei rendkívül magasak, cserébe viszont a legkedvezőbb áron állítják elő a villamos energiát. A fosszilis tüzelőanyagok bányászatánál meg kell oldani a kénnel szennyezett tüzelőanyagok tisztítását. A nukleáris energiatermelésnél nincs ilyen feladatunk mi több, működése során nem bocsát ki környezetszennyező anyagokat.



40. ábra A nukleáris energiatermelés előnyei a fosszilis energiahordozók felhasználásával összehasonlítva
Szerző saját készítésű ábrája (2023.09.12.)

10. ÖSSZEGZÉS

A mai rohanó világban a nukleáris energia használata nélkülözhetetlen. A korai kutatásoknak köszönhetően megismerkedtünk az atomenergiával, melynek felhasználása, fejlődése, megítélése hosszú utat tett meg a meglévő, kiforrott változatáig. A nukleáris energiatermelés egy bonyolult, összetett folyamatokból álló, nagy figyelmet igénylő energiatermelési mód. Mind katasztrófavédelmi, mind környezetvédelmi szempontból vizsgálva megállapítható, hogy egy kihívásokkal teli terület. Az atomerőművek előnyeikkel, hátrányaikkal nagy múltat tudhatnak maguk mögött. Működésüknek megismeréséhez a kiforratlan technológiákból nyert tapasztalatok, a bekövetkezett balesetek, üzemzavarok járultak hozzá. A veszélyeztető tényezők, mint például, hogy az általuk kibocsátott ionizáló sugárzás, kockázatos és veszélyes lehet, az emberek ellenszenvét váltja ki. Ellenben fontos kihangsúlyozni, hogy a társadalmi és gazdasági hasznosulása igen jelentős. Fontos szerepet tölt be, ugyanis a magas százalékban felhasznált nem megújuló energiaforrások számának csökkentésében, illetve kiváltásában segédkezik, ami energiasztratégiai cél. Erre azért van szükség, mert a fosszilis energiahordozók nagymértékben szennyezik a környezetünket. Az említett és dolgozatomban diagramon is szemléltetett kiegészítő kapacitás pótlására az atomenergia és a megújuló energiaforrások egyidejű alkalmazása mellett van lehetőség. Illetve szükség van az országok adottságaihoz igazodva, megújuló energia részarányának növelésére, mellesleg a kiöregedő atomerőművek helyére, harmadik generációsok építésére vagy bizonyos esetekben az üzemidő-hosszabbítására. Magyarország esetében a Paksi Atomerőműtől származik a megtermelt energia egy része, illetve a már említett megújuló forrásokból és a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből. Atomerőművünk működtetéshez hazánk kellő tudással rendelkezik. Tudniillik némely nukleáris létesítményünk hosszú ideje üzemel és vesz részt az oktatásban, valamint kutatás előmozdításában. Így ez idő alatt nyert tapasztalatok és a széles körű ismeretekkel rendelkező szakemberek csoportjának kialakulása pozitívan hatott rá. Az atomerőművek esetében elengedhetetlen a biztonsági és felügyeleti struktúra kialakítása. E két tényező egymásra épülő elemekből és többlépcsős rendszerekből tevődik össze. A megelőzés mellett az elhárításra is ugyanolyan hangsúlyt fektetnek, a katasztrófavédelemnek kiemelt szerepe van ebben a különböző rendszereivel, egységeivel. A lakosságot a megóvása mellett ki is kell szolgálni villamosenergiával, erre viszont teljes mértékben hazai forrásból még nincs lehetőség. Az ellátásbiztonság eléréséhez az energiasztratégia mentén meghatározott célkitűzéseket kell érvényre juttatni. Éppen ezért pár év távlatában az elsődleges cél az intenzív földgáz import visszaszorítási intézkedések megvalósítása az importfüggőség enyhítésére, majd megszüntetésére. Hosszú távon pedig a káros üvegházhatású gázok kibocsátásának elenyésző

menyiségűre történő mérséklése. A cél véghezviteléhez klímabarát, innovatív erőműveknek kell épülnie, melyek összhangban vannak a szigorú nemzetközi és hazai előírásokkal. Hazai vonatkozásban a Paks II épülése jelenti ezt. Nemzetközi viszonylatban az egyes országok energiapolitikája szolgálhat jó példaként. Ezen területen a hatékony kommunikáció és együttműködés nélkülözhetetlen, egyrészt a szervek másrészt a szervek és a lakosság között. Úgy gondolom a célkitűzéseim közül az energiasztratégia alapvetéseinek kifejtése és a nukleáris energia fontosságaira való rávilágítás is megvalósult. A téma bővebb oktatására nemcsak a felsőoktatásban, hanem közép és általános iskolában is szükség lenne.

11. FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Encyclopedia Britannica online: Energy, <https://www.britannica.com/science/energy>, (2023.06.24.)
2. Raymond L. Murray: Nuclear Energy (Fifth Edition) Butterworth-Heinemann, 2000, ISBN 0-7506-7136-X
[http://depni.sinp.msu.ru/~hatta/spool/books/Nuclear%20Energy%20-%20R.Murray%20\(2000\).pdf](http://depni.sinp.msu.ru/~hatta/spool/books/Nuclear%20Energy%20-%20R.Murray%20(2000).pdf), (2023.06.24.)
3. Energy Encyclopedia: Nuclear energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/nuclear-energy>, (letöltés ideje: 2023.07.02.)
4. Encyclopedia Britannica online: Nuclear energy, <https://www.britannica.com/science/nuclear-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.03.)
5. International Atomic Energy Agency: What is Nuclear Energy? The Science o Nuclear Power, <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>, (letöltés ideje: 2023.08.03.)
6. Dictionary.com: China syndrome, <https://www.dictionary.com/browse/china-syndrome>, (letöltés ideje: 2023.08.07.)
7. Vidovszky István: AZ ATOMENERGIA ELŐNYEI ÉS KOCKÁZATAI, Fizikai Szemle 2003/8. 272.o., <http://fizikaiszemle.hu/old/archivum/fsz0308/vidov0308.html>, (letöltés ideje: 2023.07.02.)
8. Morris Wright: 14 Advantages and Disadvantages of Nuclear Energy, WARBLETONCOUNCIL, 2 April 2021, <https://warbletoncouncil.org/ventajas-desventajas-energia-nuclear-16161#menu-4>, (letöltés ideje: 2023.08.07.)
9. Komáromi János: ATOM és ENERGIA, <https://mek.oszk.hu/14600/14653/14653.pdf>, (letöltés ideje: 2023.08.04.)
10. Char, N.L., Csik, Bela J.: Nuclear power development: History and outlook, International Atomic Energy Agency Bulletin, Vol. 29-3, September, 1987, <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull29-3/29304781925.pdf>, (letöltés ideje: 2023.08.06.)
11. Csom Gyula: ENERGIAPOLITIKAI PRIORITÁSOK, Magyar Tudomány 2007/1, <http://epa.niif.hu/00600/00691/00037/pdf/004-010.pdf>, (letöltés ideje: 2023.08.07.)
12. MET MAGYARORSZÁG ZRT.: Megújuló energiaforrások fajtái, előnyei és hátrányai, <https://hu.met.com/hu/mind-the-fyouture/mindthefyouture/megujulo-energiaforrasok>, (letöltés ideje: 2023.08.04.)
13. Energy Encyclopedia: Solar energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/solar-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)

14. Energy Encyclopedia: Wind energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/wind-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)
15. Energy Encyclopedia: Water energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/water-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)
16. Energy Encyclopedia: Biomass energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/biomass-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)
17. Energy Encyclopedia: Geothermal energy, <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy-sources/geothermal-energy>, (letöltés ideje: 2023.08.05.)
18. Bartholy Judit, Breuer Hajnalka, Pieczka Ildikó, Pongrácz Rita, Radics Kornélia (2013): Megújuló energiaforrások, <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/12353>, (letöltés ideje: 2023.06.22.)
19. Enerdata: Electricity production, <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>, (letöltés ideje: 2023.08.04.)
20. Homonnay Zoltán; Varga Kálmán: A nukleáris energiatermelés szerepe és perspektívái a világban és Magyarországon, [Pro Minoritate](#) 3-4.sz. (2007.) p.47-66., ISSN : 1216-9927
21. 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600116.tv>, (letöltés ideje: 2023. 06.24.)
22. BME Nukleáris Technikai Intézet: Oktatóreaktor, <http://www.reak.bme.hu/oktatoreaktor.html>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)
23. Energiatudományi Kutatóközpont: Budapesti Kutatóreaktor, <https://www.ekcer.hu/budapesti-kutatoreaktor/>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)
24. Sipos László József: 60 éves a Budapesti Kutatóreaktor, MAGYAR NUKLEÁRIS TÁRSASÁG, 2019. ápr. 08., <https://nuklearis.hu/60-eves-budapesti-kutatoreaktor>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)
25. ORSZÁGOS ATOMENERGIA HIVATAL: Az Energiatudományi Kutatóközpont Budapesti Kutatóreaktor lejáró üzemeltetési engedélyét kiváltó új üzemeltetési engedély kiadásának kérelme tárgyában megindított eljárás, AZ ELJÁRÁS KÖZÉRTHETŐ ÖSSZEFOGLALÓJA, 2023.,
[https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/9D495C96632A617DC12589E1001D6E9B/\\$File/OAH%20elj%C3%A1r%C3%A1s%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3ja.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/9D495C96632A617DC12589E1001D6E9B/$File/OAH%20elj%C3%A1r%C3%A1s%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3ja.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.22)
26. Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Kiegett Kazetták Átmeneti Tárolója, <https://rhk.hu/timeline/a-kiegett-kazettak-atmeneti-taroloja-kkat>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)

27. Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Nemzeti Radioaktív hulladék-Tároló, <https://rhk.hu/timeline/nemzeti-radioaktivhulladek-tarolo>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)
28. Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, <https://rhk.hu/timeline/radioaktiv-hulladek-feldolgozo-es-tarolo>, (letöltés ideje: 2023.07.22.)
29. Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló üzemeltetési engedély kérelme Közérthető összefoglaló, 2018, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/7A068936EB6F180DC12582AC002F7F6C/\\$File/RHFT_k%C3%B6z%C3%A9rthet%C5%91%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3_2018_RH_K_V%C3%89GLEGES_2.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/7A068936EB6F180DC12582AC002F7F6C/$File/RHFT_k%C3%B6z%C3%A9rthet%C5%91%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3_2018_RH_K_V%C3%89GLEGES_2.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.22.)
30. Országos Atomenergia Hivatal: A MAGYARORSZÁGI NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK ÉS RADIOAKTÍVHULLADÉK-TÁROLÓK 2020. ÉVI HATÓSÁGI ÉRTÉKELÉSE, 2021. november, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/30694F1D776B40EFC12587EC003CD1FC/\\$FILE/2020.%20%C3%A9vi%20hat%C3%B3s%C3%A1gi%20%C3%A9rt%C3%A9kel%C3%A9s.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/30694F1D776B40EFC12587EC003CD1FC/$FILE/2020.%20%C3%A9vi%20hat%C3%B3s%C3%A1gi%20%C3%A9rt%C3%A9kel%C3%A9s.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.21.)
31. Sebestyén Zsolt, Laczkó Balázs, Ötvös Nándor, Petőfi Gábor, Tomka Péter: Nukleáris létesítményekre vonatkozó sugárvédelmi követelmények korszerűsítése, Országos Atomenergia Hivatal, Sugárvédelem X. évf. (2017) 1. szám. 1-43, https://www.elftsv.hu/svonline/docs/V10i1/Seb_V10i1.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02)
32. Congressional Research Service: Advanced Nuclear Reactors: Technology Overview and Current Issues, February 17, 2023, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45706>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)
33. Radnóti Katalin– Király Márton: Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük. Nukleon, VIII. évf. (2015) 177, https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/8_1_177_Radnoti_0.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.22.)
34. Barina Balázs: Atomerőművek fejlődése a generációváltások tükrében, Hadmérnök 17. évfolyam (2022) 2.szám 99–112., <https://doi.org/10.32567/hm.2022.2.7>, <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/hadmernok/article/view/5845/5048>, (letöltés ideje: 2023.06.20.)
35. ANTAL Zoltán; KÁTAI-URBÁN Lajos; VASS Gyula: ATOMERŐMŰ GENERÁCIÓK FEJLŐDÉSÉNEK VONZATAI, Hadmérnök, XIII. Évfolyam 3. szám – 2018. szeptember, http://www.hadmernok.hu/183_11_antal.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02.)
36. Barina Balázs József: MAGYARORSZÁGI NUKLEÁRIS REAKTOROK KATASZTRÓFAVÉDELMI SZEMPONTÚ BEMUTATÁSA, Védelem Tudomány – VII. évfolyam, 4. szám, 2022. 10. hó, <http://real.mtak.hu/156898/1/06-barina.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.20.)
37. Ayush Kumar A, Godwin Glivin, N. Kalaiselvan and V. Mariappan: Nuclear Reactors, their Types and Impact on Safety, Environment and Sustainability towards a Green Future, Energy

Research Journal 2020 Volume 11: 22-27, DOI: 10.3844/erjsp.2020.22.27, <https://thescpub.com/pdf/erjsp.2020.22.27.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

38. Gérard Cognet: The different generations of nuclear reactors From Generation-1 to Generation-4, Kočovce (Slovakia) – September 2010, <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/44/078/44078364.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

39. Pór Gábor: Atomenergetikai alapismeretek, Budapest, Edutus Főiskola, 2012., <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/11911> (letöltés ideje: 2023.06.22.)

40. Hanusovszky Livia: Atomreaktorok, http://atomfizika.elte.hu/magreszfiz/hanusovszky_livia_atomreaktorok.pdf (letöltés ideje: 2023.07.15.)

41. Stephen M. G.: Robert R.: Nuclear reactors: generation to generation – American academy of arts and sciences, Cambridge, 2011. ISBN#: 0-87724-090-6, <https://www.amacad.org/sites/default/files/academy/pdfs/nuclearReactors.pdf> (letöltés ideje: 2023.07.07)

42. World Nuclear Association: Nuclear Power Reactors, May 2023, [Nuclear Power Today | Nuclear Energy - World Nuclear Association \(world-nuclear.org\)](https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-power/reactors/) (letöltés ideje: 2023. 07.08.)

43. Nuclear Energy Institute: World Nuclear Power Plants in Operation, <https://www.nei.org/resources/statistics/world-nuclear-power-plants-in-operation>, (letöltés ideje: 2023.07.08.)

44. Országos Atomenergetikai Hivatal: MAGYARORSZÁG MÁSODIK NEMZETI JELENTÉSE a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági közösségi keretrendszerének létrehozásáról szóló 2009/71/Euratom irányelv módosításáról szóló 2014/87/Euratom tanácsi irányelv végrehajtásáról, 2020. július, https://energy.ec.europa.eu/system/files/2021-03/13_hu_2nd_2020_report_a-nsd_0.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.23.)

45. PÁTZAY GYÖRGY: ATOMENERGETIKA ÉS NUKLEÁRIS TECHNOLÓGIA, 2011, ISBN 978-963-279-468-6, https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/60/02/dd/1/Atomenergetika_animaciok_nelkul.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.23.)

46. MVM Paksi Atomerőmű: Hogyan működik? <https://atomeromu.mvm.hu/HU/Tudastar/HogyanMukodik>, (letöltés ideje: 2023. 07. 19.)

47. Országos Atomenergia Hivatal: ISMERTETŐ FÜZET AZ ATOMENERGIA ALKALMAZÁSA MAGYARORSZÁGON, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5F12930AD38AF595C1257C38002794DA/\\$FILE/ismerteto_web-1.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5F12930AD38AF595C1257C38002794DA/$FILE/ismerteto_web-1.pdf), (letöltés ideje: 2023. 06.22.)

48. Paulovics, Anita: Az atomerőművek üzemidejének meghosszabbítása az Egyesült Államokban és Magyarországon, Journal of Agricultural and Environmental Law = Agrár- és Környezetjog, 2020, Vol.15 (28), p.344-375,

https://epa.oszk.hu/01000/01040/00030/pdf/EPA01040_agrar_es_kornyezetjog_28_344-375.pdf, (letöltés ideje: 2023. 07.05.)

49. 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200001.oah>, (letöltés ideje: 2023. 06.24.)

50. Európai Parlament: Euratom szerződés, <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/hu/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>, (letöltés ideje: 2023.07.21.)

51. Kovács Antal: Kommunikáció a társadalommal, mint atomenergiafogyasztóval, DOKTORI ÉRTEKEZÉS, Pécs, 2010, https://pea.lib.pte.hu/bitstream/handle/pea/841/Kovacs%20Antal_doktori%20ertekezes.pdf?sequence=1, (letöltés ideje: 2023.06.23.)

52. DOBOR József; KOSSA György; PÁTZAY György: ATOMERŐMŰVI BALESETEK ÉS ÜZEMZAVAROK TANULSÁGAI 1., Hadmérnök XII. Évfolyam 1. szám – 2017. március, http://www.hadmernok.hu/171_06_dobor.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

53. DOBOR József; KOSSA György; PÁTZAY György: ATOMERŐMŰVI BALESETEK ÉS ÜZEMZAVAROK TANULSÁGAI 2, Hadmérnök XII. Évfolyam 4. szám – 2017. december, http://www.hadmernok.hu/174_09_dobor.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

54. Országos Atomenergia Hivatal: A biztonsági kultúra felmérése és az eredmények hasznosítása nukleáris létesítményeknél, 2015. szeptember, [http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/\\$File/2.18v1.pdf](http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/$File/2.18v1.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.24.)

55. Országos Atomenergia Hivatal: Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez, 2019. november, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/BEA98D0C319A3C51C1257F41003303E7/\\$File/SV_17_1.0.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/BEA98D0C319A3C51C1257F41003303E7/$File/SV_17_1.0.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.25.)

56. Atomerőművek biztonsága: <https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Biztonsag.pdf?la=hu-HU>, (letöltés ideje: 2023.07.26.)

57. L. E. J Roberts: Nuclear power and public responsibility, Cambridge [Cambridgeshire] New York : Cambridge University Press, 1984, ISBN : 0521247187

58. International Atomic Energy Agency: Safety culture in the maintenance of nuclear power plants, Vienna : IAEA, 2005, ISBN : 92-0-112404-X

59. ¹ Országos Atomenergia Hivatal: Ines skála https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=2_6_1, (2023.07.04.)

60. Rausch Péter: A nukleáris energiatermelés helyzete és szerepe a jelenkori társadalomban, Budapest, 2009., <http://rexades.web.elte.hu/letoltes/rpszakdolgozat.pdf>, (2023.07.04.)

61. BM OKF: ONER, <https://www.katasztrofavedelem.hu/91/orszgos-nuklerisbaleset-elhrtsi-rendszer-jogszablyok>, (letöltés ideje: 2023.07.28.)
62. BM OKF: OSJER, <https://www.katasztrofavedelem.hu/92/orszagossugarfigyelo-jelzo-es-ellenorzo-rendszer>, (letöltés ideje: 2023.07.28.)
63. BM OKF: RODOS, <https://www.katasztrofavedelem.hu/95/nuklearisbaleset-elharitasi-dontestamogato-rendszer>, (letöltés ideje: 2023.07.28.)
64. BM OKF: Nemzetközi radiológiai adatcsere rendszer, <https://www.katasztrofavedelem.hu/94/nemzetkozi-radiologiai-adatcsere-rendszer#top>, (letöltés ideje: 2023.07.28.)
65. Kátai-Urbán Lajos, Kiss Béla: Nukleáris erőművek, mint a veszélyes technológia és az országos nukleárisbalesetelhárítási rendszer, HADMÉRNÖK 9: 3 pp. 80-96., 17 p. (2014), http://www.hadmernok.hu/143_07_kataiul.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.24.)
66. Antal Zoltán, Révai Róbert, Bérczi László: Nukleáris baleset-elhárítás Magyarországon, különös tekintettel az egészségügyi hatásokra – I. rész, Műszaki Katonai Közlöny, 29. évfolyam (2019) 3. szám 5–20, DOI: 10.32562/mkk.2019.3.1., http://real.mtak.hu/106163/1/2019_3-1_Antal-Revai-Berczi_5-20.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02.)
67. Antal Zoltán, Révai Róbert, Bérczi László: Nukleárisbaleset-elhárítás Magyarországon, különös tekintettel az egészségügyi hatásokra – II. rész, Műszaki Katonai Közlöny, 29. évfolyam (2019) 4. szám 133–155. DOI: 10.32562/mkk.2019.4.9, http://real.mtak.hu/107450/1/MKK_2019_4_Antal_Zoltan_Revai_Robert_Berczi_Laszlo.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02.)
68. Fülöp N. Salik Á.: Nukleáris baleset-elhárítás, https://biofiz.semmelweis.hu/run/dl_t.php?id=9223&tid=458, (letöltés ideje: 2023.07.27.)
69. Központi Statisztikai Hivatal: Bruttó villamosenergia-termelés, https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0009.html, (letöltés ideje: 2023. 08.08.)
70. Energiaklub: A JELENLEGI ÉS A RUGALMAS ENERGIARENDSZER, https://energiaklub.hu/files/infographics/infografika_energiaklub_energiarendszerek.pdf, (letöltés ideje: 2023.08.14.)
71. Molnár Ferenc: Ellátásbiztonság a biztonságért, BIZTONSÁGTUDOMÁNYI SZEMLE 2. 3 pp. 89-106. , 18 p. (2020), <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/80/67>, (letöltés ideje: 2023.06.23.)
72. MVM Paksi Atomerőmű: 15 hónapos üzemeltetési ciklus bevezetése a Paksi Atomerőmű 1-4 blokkján, 2015, [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5B44C9B8EBED8959C1257E5B0032BFA/C/\\$File/PAZrt_osszefoglalo_C15.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5B44C9B8EBED8959C1257E5B0032BFA/C/$File/PAZrt_osszefoglalo_C15.pdf), (letöltés ideje: 2023.07.18.)
73. MVM: Termelés, <https://mvm.hu/hu-HU/Tevekenyseguunk/Termeles>, (letöltés ideje: 2023.08.08.)

74. MVM Mátra Energia: Tevékenység, <https://mert.mvm.hu/Rolunk/Tevekenyseg>, (letöltés ideje: 2023.08.15.)

75. MVM Balance: Tevékenység, <https://balance.mvm.hu/HU/Bemutakozas/Tevekenysegunk>, (letöltés ideje: 2023.08.15.)

76. Molnár Ferenc: Az energiaellátás biztonságának fejlődése a magyar villamosenergia rendszer történetében, BIZTONSÁGTUDOMÁNYI SZEMLE 4 : 2. különszám / Rajnai 60 pp. 71-85. , 15 p. (2022), <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/289/247>, (letöltés ideje: 2023.08.15.)

77. Dr. Hugyecz Attila: A MAGYAR VILLAMOSENERGIA-PIAC 2022-BEN, Elemző percek No. 134., VER 2022. éves riport (Paks II.), 2023. január 20. <https://paks2.hu/documents/20124/286244/Elemz%C5%91+percek+134.+r%C3%A9sz+-+2023.+01.+20.+--+VER+2022.+%C3%A9vi+riport.pdf/345b9a2e-60a2-4ec7-9c70-29fb7bae3e0d?t=1674478594652>, (letöltés ideje: 2023.08.08.)

78. Lipták Róbert, Hadházi Tibor: A VILLAMOSENERGIA-FELHASZNÁLÁS VÁLTOZÁSA, Multidiszciplináris tudományok, 11. kötet. (2021) 3 sz. pp. 167-174, <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.3.19>, http://real.mtak.hu/164287/1/835_doi.pdf, (letöltés ideje: 2023.08.17.)

79. Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve, 2023. évben felülvizsgált változat, Rövidített, <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/5/54/54b/54b7fc0579a1a285f81d183931bfaa7e4588b80e.pdf>, (letöltés ideje: 2023.08.18.)

80. Paks II. ZRT.: Közérthetően a létesítési engedélyezésről, <https://www.paks2.hu/kozerthetoen-a-letesitesi-engedelyezesrol>, (letöltés ideje: 2023.08.21.)

81. Paks II. ZRT.: A projekt háttere, <https://www.paks2.hu/a-projekt-h%C3%A1tttere>, (letöltés ideje: 2023.08.21.)

82. Paks II. ZRT.: MIRE LESZ ELÉG A PAKS II. ATOMERŐMŰBEN MEGTERMELT ÁRAM?, <https://www.paks2.hu/documents/20124/93643/Sz%C3%B3r%C3%B3lap%20E2%80%93%20Mire%20lesz%20el%C3%A9g%20a%20Paks%20II.%20Atomer%C5%91m%C5%B1ben%20megtermelt%20%C3%A1ram.pdf/19d1fd0f-8c92-4ebf-11ce-3a9996d3e997>, (letöltés ideje: 2023.08.21.)

83. Alena MASTANTUONO: Az Európai Gazdasági és Szociális Bizottság véleménye – Az atomenergia szerepe az uniós energiaárak stabilitásában, Az Európai Unió Hivatalos Lapja, C 486/102, 2022.12.21., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A52022AE1184&fbclid=IwAR1n4gn6lmCnSUyPbZ0vE0c84J3elTJUiesRHNxdifoMzu9eGYPKd1Zfv6k>, (letöltés ideje: 2023.08.23.)

84. Massachusetts Institute of Technology: The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World, 2018, <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)

85. International Atomic Energy Agency: Nuclear Power and Sustainable Development, VIENNA, 2016 <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1754web-26894285.pdf>, (letöltés ideje: 2023.06.27.)
86. Másfélék: karbonsemlegesség (carbon neutrality) / klímasemlegesség, <https://masfeloek.hu/klimaszotar/#alphabet-item-K>, (letöltés ideje: 2023.08.25.)
87. Másfélék: dekarbonizáció, <https://masfeloek.hu/klimaszotar/#alphabet-item-D>, (letöltés ideje: 2023.08.25.)
88. Innovációs és Technológiai Minisztérium: Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig, <https://www.banyasz.hu/images/klimapolitika/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030.pdf>, (letöltés ideje: 2023.07.02.)
89. MEZŐSI ANDRÁS–RÁCZ VIKTOR: A klímasemlegesség ára Az üvegházhatású gázok csökkentésének költségbeclése HU-TIMES modellel, KÖZGAZDASÁGI SZEMLE, LXX. ÉVF., 2023. JANUÁR (55–81. o.), (letöltés ideje: 2023.08.26.)
90. Technológiai és Ipari Minisztérium: EGYÜTTMŰKÖDÉSBEN A KÖRNYEZETÜNKÉRT, 5. Nemzeti Környezetvédelmi Program 2026-ig szóló szakpolitikai stratégia, 2022, https://njt.hu/document/e2/e2b4EJR_570563-2X08424.pdf, (letöltés ideje: 2023.07.02.)
91. Slovenské Elektrárne: About us, <https://www.seas.sk/en/about-us/>, (letöltés ideje: 2023.09.03.)
92. Slovenské Elektrárne: Strengthening Slovakia's energy security: Slovenské elektrárne concluded a fuel supply agreement with Westinghouse, <https://www.seas.sk/en/press-releases/slovenske-elektrarne-nuclear-fuel-westinghouse/>, (letöltés ideje: 2023.09.02.)
93. World Nuclear Association: Nuclear Power in Slovakia, <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/slovakia.aspx>, (letöltés ideje: 2023.08.27.)
94. International Atomic Energy Agency: Country Nuclear Power Profiles 2022 Edition, SLOVAKIA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Slovakia/Slovakia.htm>, (letöltés ideje: 2023.08.27.)
95. World Nuclear Association: Reactor Database Search, https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/reactor-database-data/reactor-database-search.aspx?source=%7B%22query%22%3A%7B%22query_string%22%3A%7B%22query%22%3A%22slovakia%22%2C%22default_operator%22%3A%22AND%22%7D%7D%2C%22size%22%3A%25%2C%22sort%22%3A%5B%7B%22index.sort_name.exact%22%3A%7B%22order%22%3A%22asc%22%7D%7D%5D%7D, (letöltés ideje: 2023.09.03.)
96. Dr. Hegedüs Krisztina, Dr. Hugyecz Attila: SZLOVÁKIA VILLAMOSENERGIA-HELYZETE, 2021. december 2,

<https://www.paks2.hu/documents/20124/286244/Elemz%C5%91%20percek%20095.%20r%C3%A9sz%20-%202021.%2012.%2002.%20-%20Szlov%C3%A1kia.pdf/05bac06d-eeb7-1de1-4fb0-39a70bf26ee2>, (letöltés ideje 2023.09.03.)

12. ÁBRAJEGYZÉK

1. A világon termelt villamosenergia kategóriák szerint, Szerző saját készítésű ábrája (2023.08.04.), Forrás: https://www.worldenergydata.org/world-electricity-generation/#footnote_0_9196, (letöltés ideje: 2023.08.04.)
2. A világon termelt villamosenergia kategórián belüli megoszlása, Szerző saját készítésű ábrája (2023.08.04.), Forrás: https://www.worldenergydata.org/world-electricity-generation/#footnote_0_9196, (letöltés ideje: 2023.08.04.)
3. Nukleáris létesítmények sematikus ábrája, Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.22.)
4. Termikus reaktorok típusai, Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.07.)
5. 3. generációs kifejlesztett és 4. generációs fejlesztés alatt álló reaktor típusok, Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.08.)
6. VVER 440/213 PARAMÉTEREI, Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.18.)
7. A Paksi Atomerőmű energiatermelésben részt vevő főberendezések sematikus ábrája, Forrás: [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5B44C9B8EBED8959C1257E5B0032BFA/\\$File/PAZrt_osszefoglalo_C15.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5B44C9B8EBED8959C1257E5B0032BFA/$File/PAZrt_osszefoglalo_C15.pdf) (letöltés ideje: 2023.07.18.)
8. Többoldalú kapcsolatok típusai, Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.21.)
9. Biztonsági kultúra felépítése a jéghegy modell alapján, Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.25.)
10. 10. ábra INES rendszer bemutatása, Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.04.)
11. Veszélyhelyzeti tervezési kategóriákat összefoglaló táblázat, Szerző saját készítésű ábrája (2023.07.28.)
12. Hazánk nukleáris veszélyeztetettsége, Forrás: Kátai-Urbán Lajos, Kiss Béla: Nukleáris erőművek, mint a veszélyes technológia és az országos nukleáris balesetelhárítási rendszer, HADMÉRNÖK 9: 3 pp. 80-96., 17 p. (2014), http://www.hadmernok.hu/143_07_kataiul.pdf, (letöltés ideje: 2023.06.24.)
13. MVM Csoport nukleáris, fosszilis és megújuló erőművei (2021), Forrás: <https://mvm.hu/hu-HU/Tevekenysegunk/Termeles>, (letöltés ideje: 2023.08.08.)
14. VVER-1200 jellemzői, Szerző saját készítésű ábrája (2023.08.21.)
15. Árampiaci árak alakulása, Forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>, (letöltés ideje: 2023.08.23.)
16. Szlovákia villamosenergia-termelésének alakulása (Az értékek TWh-ban értendők), Szerző saját készítésű ábrája (2023.08.27.)
- 17.-38. Nukleáris energiatermeléssel kapcsolatos kérdéssor (2023.09.08.)

39. Nukleáris energiatermelés fontosságának oktatási lehetőségei, Szerző saját készítésű ábrája (2023.09.12.)

40. A nukleáris energiatermelés előnyei a fosszilis energiahordozók felhasználásával összehasonlítva, Szerző saját készítésű ábrája (2023.09.12.)