

Dr. Pálfi Judith, Gyuricza Marcell, Szénási Benedek, Kvala Dávid, Lovász Balázs, Buzder Lajos, Kok Barnabás, Molnár Ferenc: Atomenergia és különleges energiaforrások

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

Absztrakt: Bolygónkon az egyre gyarapodó létszámú emberiség energiaigénye évről évre folyamatosan növekszik. A növekvő energiaéhség kielégítését nehezíti a napjainkban tapasztalható energiaválság. [1] A Föld energiakészletei korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésünkre. [1] Csatatunk szeretné bemutatni az energiatermelési technológiák fejlődését és a hagyományos energiahordozók alternatíváit. A jelenleg kialakult helyzet forradalmi változás elé állította az energia szektor szereplőit (pl. az energia árak növekedési kockázata, az ellátásbiztonság, a környezetszennyezés stb.). A hagyományos termelési módoktól való függetlenedés és az ellátásbiztonság növelésének lehetőségeire keresünk lehetséges megoldásokat a cikkünkben. A témát szakirodalom és ipari mentorunk segítségével interdiszciplináris módon dolgozzuk fel.

Kulcsszavak: atomenergia, különleges erőforrások

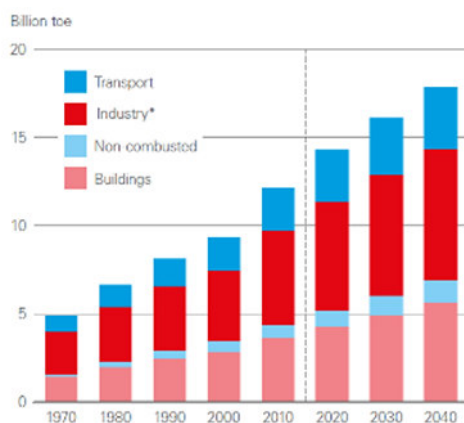
1. Bevezetés

Napjaink legnagyobb kihívásai egymásból következnek, kölcsönös függési viszonyban állnak egymással és egy sötét, disztópikus jövő eljövételével fenyegetnek: az emberi populáció túlnépesedése és a fosszilis energiahordozók megkerülhetetlen státusza bolygónk ökoszisztémájának rohamos pusztulásához vezet. A fentiekben megnevezett tények közötti összefüggések öngerjesztő folyamatként írhatók le, és ennek a folyamatnak számos externáliája sújtja civilizációnkat. Mindezek ismeretében vizsgáljuk meg az energetikai szektor globális szerepét a környezetszennyezésben: a szélesebben gyarapodó számú emberiség szignifikánsan növeli a nemzetek energiaéhségét, melynek kielégítése többnyire fosszilis termelési módok alkalmazásával történik, ami felgyorsítja a Föld élővilágának pusztulását. Ebben a zuhanórepülésben hatalmas felelősség nehezedik az energetikusok vállára, ugyanis a világ energiaellátottságát immár környezetvédelmi szempontoknak megfelelően szükséges biztosítani, hogy elkerüljük a bioszféra irreverzibilis károsodását. Mindez a károsanyag-kibocsátás (üvegházhatású gázok és egyéb mérgező vegyületek) csökkentésével, a tudatos energiafogyasztással, és ezekből következően, az alternatív, megújuló energiaforrások elterjedésével érhető el. A téma időszerűségére erőteljesen rámutat az energiaválság, ami primer módon a fosszilis energiahordozó alapú rendszereket érinti, ennek következtében egyre tágabbra nyílik az alternatív megoldások alkalmazása felé vezető út kapuja, ami egyben egy fenntarthatóbb jövőképet lehetőséget rejti magában. [1] Csatatunk célja az energetikában megjelenő forradalmi változás prezentálása, a konvencionális termelési megoldásoktól való függetlenedés és a diverzifikált energiaellátás lehetőségének vizsgálata.

2. Energiakitekintés

2.1. Jelen és jövő energiafelhasználása

Jelenleg is tart a föld túlnépesedése, amely bár egy hosszú folyamat eredménye, mi mégis szélesebben száguldunk efelé. Jelenleg az energiaárak az orosz-ukrán konfliktus miatt kilóttek, a fogyasztásunk mégis nő. 2040-re várhatóan a világ népessége elérheti a 9,2 milliárd főt, ekkor a gazdasági bővülésnek a 80%-át a termelékenység növekedés fogja kitenni. [2] A mai helyzetben az ipari terület használja fel a legtöbb energiát, csaknem a felhasználás felét.

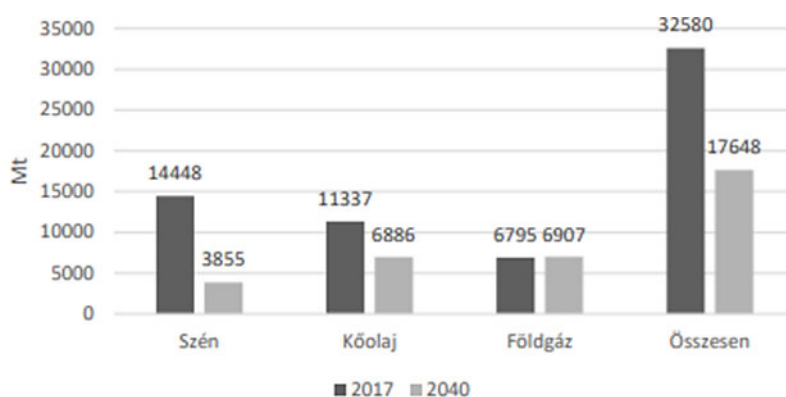


1. ábra Energiafogyasztás megoszlása [15]

A közlekedés és kereskedelmi szektor pedig szintén közel 50%-át teszi ki (1. ábra). [2] Kutatások szerint a gazdasági növekedés hatására az életszínvonal is nőni fog, melynek köszönhetően a középosztály fog bővülni. Több ember engedheti meg magának a jóléti eszközöket. A legnagyobb fejlődés éppen ezért az energia előállítására lesz fókuszálva.

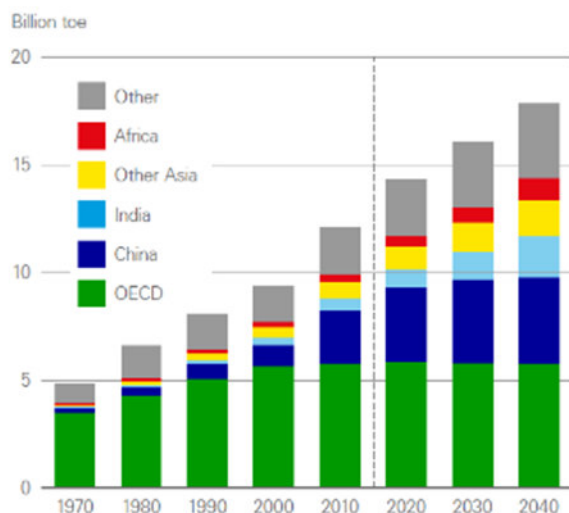
2.2. A világ energiaigénye

Az energiaigény növekedéséért legfőképpen a fejlődő országok a felelősek. Sajnálatos módon, a világ legelterjedtebb energiahordozói a fosszilis energiaforrások. A hangsúly ezen a területen a széndioxid kibocsátáson van (2. ábra), mely Földünket szennyezi és elősegíti a bolygónk felmelegedését. [3]



2. ábra: Szén-dioxid kibocsátás [16]

Látható, hogy az égetéssel mennyi szennyező gázt juttatunk a levegőbe. A csökkenést 2040-re a nem megújuló energiahordozók fogyásának, illetve az új termelő technológiáknak köszönhetjük. Emellett fontos megemlíteni, hogy a fejlődés miatt a súlypontok is áthelyeződnek.

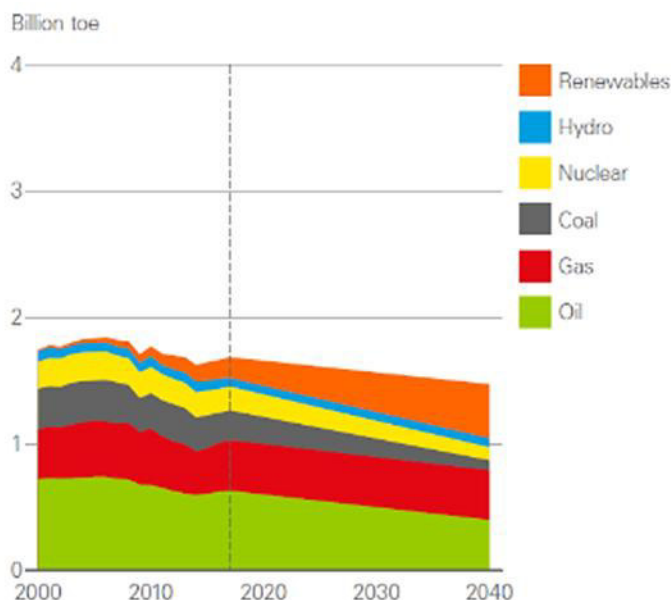


3. ábra: Fogyasztás a múltban és a jövőben [17]

A régiók megoszlása eltérő lesz. A kiugró energiatermelő országok Kína és India marad, ezáltal az energiaigény ott fog a legmagasabb tendenciában is nőni. 2040-re az igény egyharmadát kitevő OECD országok fogyasztása stagnálni fog. Fontos itt megjegyezni, hogy Afrika fogja a népességnövekedés ~25%-át kitenni, az igénynövekedés mégis itt csupán 6% lesz (3. ábra). [2]

2.3. Primer energiaforrások [2]

A legfontosabb feladat az energiaszektorban, hogy a károsanyag kibocsátást jelentősen le kell csökkenteni. Fontos, hogy meg kell vizsgálni a fogyasztást azon belül is pedig, hogy min lehet változtatni, illetve csökkenteni. A jelentős kibocsátást természetesen mi magunk és az igényünk okozza.



4. ábra: Energiamix [18]

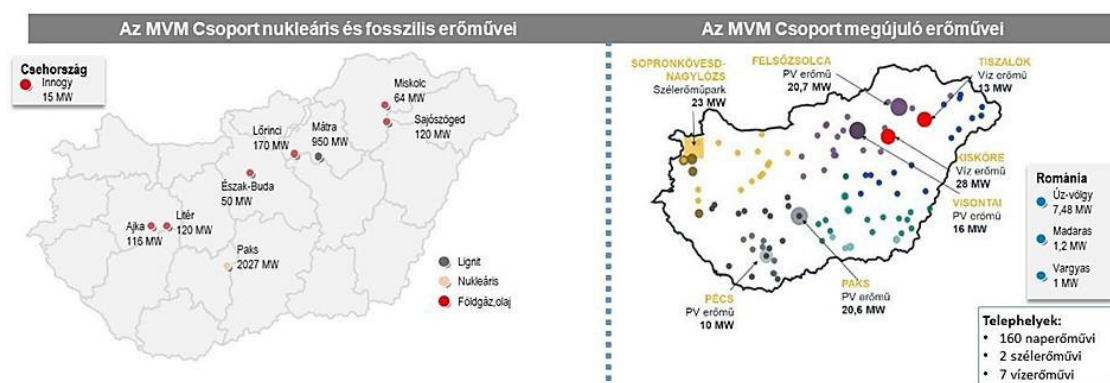
A jövőben jelentősen fog növekedni a megújuló, illetve alacsony szén-dioxid termelő erőforrások száma a technológiai fejlődésnek köszönhetően. Ennek hatalmas nyertese a megújuló ágazat lesz. 2040-re az energiamix 15%-át a megújuló energiaforrások adják majd (4. ábra). A földgáz kivételével minden fosszilis energiaforrás felhasználása csökken. A gáz felhasználása viszont jelentősen növekedni fog.

2.4. Magyarország erőművei

A hazai villamosenergia-termelés alapját, gerincét a Paksi Atomerőmű (~50% hazai termelési hányad) és széntüzelésű erőműveink adják. Termelési rugalmatlanságukból adódóan gazdaságos üzemeltethetőségük egyik alapfeltétele, hogy folyamatosan biztosított legyen névleges terhelésüket megközelítő betáplálásuk a hálózatba. Leállításuk, illetve újra indításuk időigényes, költséges folyamat.

A legnagyobb haza széntüzelésű erőmű a lignit lelőhelyeink kiaknázására épült. A telepek kimerülésével üzemeltetése csak átalakítás után a drága import kőszénrel vagy pakurával/fűtőolajjal lehetséges.

Vízerőműveink is az alap erőműveink közé tartoznak, azonban termelő képességük a jelenlegi igényekhez, illetve a többi erőműhöz képest nem jelentős.

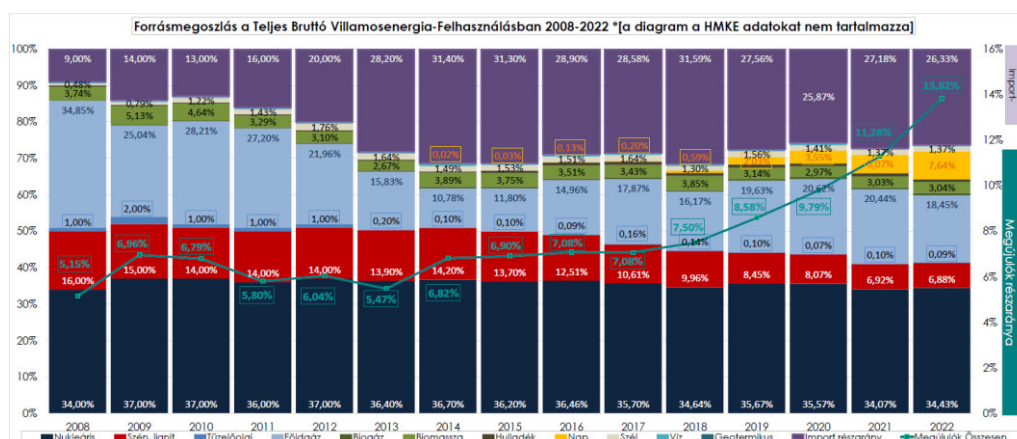


5. ábra: Magyarország erőművei [19]

Gáz-tüzelésű erőműveink a menetrendtartást és a rendszer szabályozási tartalékát képezik (5. ábra). Ezekkel igazítható a termelés a fogyasztás ingadozásához, mivel viszonylag gyorsan indíthatóak, hálózatra kapcsolhatóak. Hátrányuk a jelen gazdasági helyzetben mutatkozik meg igazán: fűtőanyaguk biztosítására a hazai földgáz kitermelés nem elegendő, az import hozzáférhetősége bizonytalan és drága.

A vízerőműveken túl további megújuló energiaforrásokat hasznosító erőművek épültek az elmúlt 20 évben: szél erőművek, biogáz-motoros erőművek, nap-erőművek. Ezek közül a szél- és naperőművek energiatermelő képessége alapvetően függ az időjárástól, nehezen menetrendezhető. Ennek ellensúlyozására jogi szabályozással igyekeznek tervezhetőbbé tenni a termelésüket, de ennek – érthető módon – még nem elég jelentős az eredményessége. Az állami beruházás-támogatási rendszernek köszönhetően azonban mára komoly energiaelosztási problémákat okoz a hektikusságuk és összes beépített termelő kapacitás volumene.

Az igényeknek megfelelő villamos áram mennyiség kiszolgálására folyamatosan, változó mértékben importra szorulunk.



6. ábra: Bruttó villamosenergia felhasználás [20]

Európai villamos hálózati elosztó rendszerben több helyen próbálkoztak a villamos energia „tárolásával” már az 1970-es évektől: vízerőmű – tározó – szivattyútelep rendszereket létesítettek. (6. ábra) Ezekben a túlermelési időszakok „feleslegben termelt” villamos áramával szivattyútelepeket hajtottak meg, amelyekkel vizet emeltek fel magasan fekvő víztározókba, majd a magasabb fogyasztási igényű időszakokban turbinákon keresztül engedték le a vizet – és nyerték vissza az eltárolt villamosenergiát.

A fosszilis energiahordozók kimerülésének közeledtével jól modellezi a várható jövőt a jelenlegi energia válság. A fosszilis energiahordozók az ipar számára is egyre nélkülözhetetlenebbé válnak, mint vegyipari alapanyagok. Az égéstermékek környezetre gyakorolt hatása miatti egyre erőteljesebb társadalmi elutasítása a hagyományos erőműveknek, és a drága nyersanyagok rossz hatásfokú felhasználásának gazdasági következményei miatt egyre nagyobb teret kapnak az alternatív energiaforrások kutatásai. Az ITER-hez hasonló léptékű kutatási-beruházási projektek futnak Japánban és Észak-Amerikában is. A hidrogén-cella autóiipari fejlesztéséből pedig a kisebb közösségeket, településeket ellátni képes állandó telepek fejlesztése kezd teret hódítani.

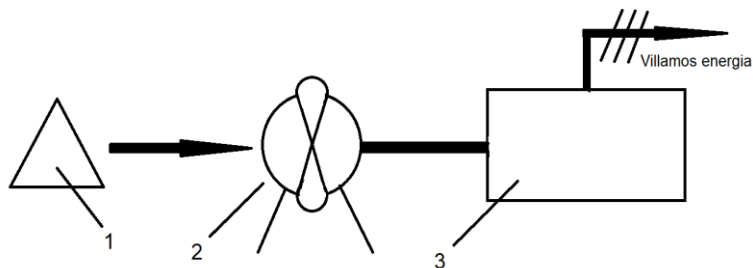
3. Energiatermelés

Napjainkban a villamos energia közvetlenül hozzátartozik a mindennapi életünkhöz. Ennek a számunkra „korlátlan” erőforrásnak a meglétét már nem is értékeljük, csak annak a hiányát, vagy esetleges üzemzavari problémáit észleljük. A természetben nem létezik villamos energia az általunk felhasználható formában. Azért, hogy ez hozzánk, a fogyasztóhoz, megfelelő formában eljusson, az emberek a történelem során különböző energia termelési módszereket fedeztek fel. Azt a létesítményt, ahol ez a folyamat játszódik erőműnek nevezzük. Az erőművekben természeti erőforrások felhasználásával állítanak elő villamos energiát. Ilyen erőforrások például: a szél mozgási energiája, a vízfolyások helyzeti energiája, a tüzelőanyagok elégetése és egyes atommagok hasítása vagy egyesítése. Az egész folyamat legfontosabb része a termelés és a fogyasztás egyensúlyának a folyamatos fenntartása, mivel a villamos energia nehezen tárolható.

3.1 Az energia átalakításának a folyamata

A villamos energia országos méretű felhasználása miatt a termelés és szolgáltatás jellemzőinek egységeeknek kell lenniük. Ezért világszerte az általánosan elfogadott háromfázisú váltakozó

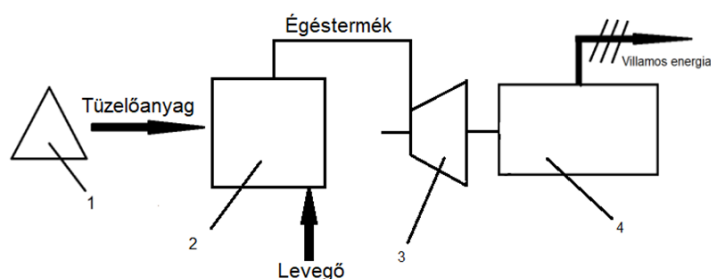
áram szolgáltatja az energiát otthonunkban, melynek a frekvenciája Magyarországon 50 Hz, holott más nemzeteknél 60 Hz is lehet. A háromfázisú váltakozó áram előállítására a generátor szolgál, mely mechanikai energiát alakít át villamos energiává. Ez a gép szerkezetileg két fő részből épül fel: az állórészből (sztátor) és a forgórészből (rotor). A forgórész forgatásakor az állórészben feszültség indukálódik.



7. ábra:

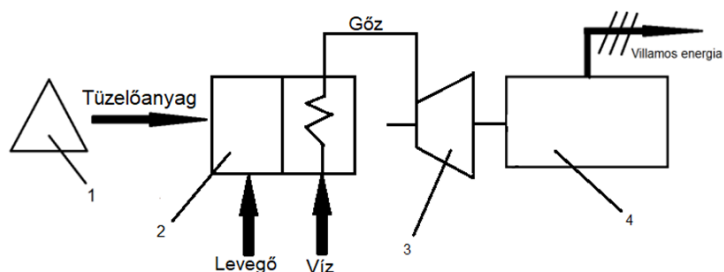
1. természeti erőforrás (pl. szél, vízfolyás), 2. erőgép (pl. szélkerék, vízturbina), 3. villamos generátor [21]

A villamos energia előállításának a legegyszerűbb módja (7. ábra), amikor az erőgép a természeti erőforrások mozgási vagy helyzeti energiáját a generátor tengelyén elvezethető mechanikai energiává alakítja át.



8. ábra: 1.természeti erőforrás 2.tüzelőberendezés 3. hőerőgép 4. villamos generátor [22]

Egy bonyolultabb energiaátalakítási folyamat az, amikor a természeti erőforrásokat hővé alakítjuk át és ezt a hőt egy, a villamos generátorhoz csatlakoztatott, turbinába vezetjük át (8. ábra). A tüzelőanyag az égés során a levegőben lévő oxigénnel kémiai reakcióba lép, majd hő szabadul fel. A felszabaduló hő az égés során létrejött gázokat melegíti fel, melyek később a hőerőgépbe jutnak. Az ilyen esetekben a villamos generátort hajtó hőerőgép belső égésű motor vagy gázturbina.



9. ábra: 1. természeti erőforrás 2.tüzelőberendezés 3. hőerőgép 4. villamos generátor [23]

Az előzőhöz hasonló, azonban részben eltérő megoldás az, hogy a felszabaduló hőt magas nyomású vízgőz létrehozásához használják fel (9. ábra). Ezt a gőzt alakítja át a hőerőgép, amely

lehet dugattyús gőzgép vagy gőzturbina, mechanikai munkává. Ezt a munkát a generátor fel tudja használni villamos áram termelésére. A három megoldás közül ez a módszer a legelterjedtebb.

3.2 Gőzkazánok

A gőzkazánokban elégetett tüzelőanyag által termelt hő a fűtőfelületeken keresztül gőzt termel. Fűtőfelület alatt értünk, minden olyan cső külső felületét, amelyben víz, gőz vagy égési levegő áramlik. A fűtőfelületek nagyságát, illetve elhelyezkedését a gőztermelés három fő szakaszának (vízhevítés, túlhevítés, elgőzölögtetés) hőigénye és a hőátadás formája dönti el. A vízhevítéshez használt csöveket elegendő csak a forró égéstermékek áramlásának az útvonalába helyezni. A túlhevítést igénylő fűtőfelületek részben a tüztér felett, részben a kilépő füstgázok útjában találhatóak. A legtöbb hő igénylő fázis az elgőzölögtetés. Itt a hőt átvevő csövek közvetlen a tüztérrel vesznek körül, hiszen itt keletkezik a legtöbb hő.

3.3 Gőzturbina

A gőzkazánban létrehozott gőz egy szigetelt, nagy nyomású vezetéken keresztül jut a gőzturbinába, melynek a tengelye a villamos generátort hajtja meg. A gőzturbinában a hő két lépésben alakul át mechanikai munkává. Először a turbina álló részében lévő fűvókákban a gőz hőtartalma az áramló gőz mozgási energiájává alakul át. Másodjára pedig az áramló gáz átadja az energiáját a gőzturbina forgó részén lévő lapátoknak. Ennek köszönhetően a gőzturbina tengelye forgásba lép. A turbinába belépő gőz mennyiségét szabályozni kell, hiszen csak annyi áramot termelhet a generátor, amennyit a fogyasztók elhasználnak.

3.4 Gázturbina

A gázturbina működését három fő egység szolgáltatja: a kompresszor, az égéstér és az égőkamra. A kompresszor feladata, hogy a környezetben lévő levegőt megfelelő nyomásra sűrítse össze. Ezt követően a kompresszor által összenyomott és felmelegített levegő az égéstérbe érkezik, ahol a tüzelőanyag (általában tüzelőolaj vagy földgáz) égését segíti. Fontos, az égéstermékek tisztasága, hiszen ezek közvetlenül a gázturbinába jutnak. A gőzturbinához hasonlóan alakul át a forró gázok hője mechanikai munkává. Azonban a megtermelt energia több mint felét a kompresszor nyeli el, hiszen a beindítás utáni meghajtását a turbina tengelye biztosítja.

3.5 Kombinált körfolyamatú erőművek

A gázturbinából távozó gázok felhasználásuk után is még jelentős hőmérséklettel rendelkeznek (kb. 500°C). Abból a célból, hogy ez ne vesszen el, a gázokat hőhasznosító kazánba vezetik, ahol a gőzkazánhoz hasonlóan, fűtőfelületeken keresztül vizet és gőzt melegítenek fel. A vízgőz energiáját gőzturbinába vezetve hasznosítják. Ezzel a módszerrel két fázisban, kevesebb veszteséggel tudunk áramot termelni. [4]

4. Atomenergia

4.1 Atomenergia múltja

Hosszú út vezetett a ma ismert atomerőművekig. Az első komoly előrelépés Ernest Rutherford-tól származik 1919-ből. Ő valósította meg az atommag mesterséges átalakítását. Ezután a három legfontosabb név Enrico Fermi, Szilárd Leó és Wigner Jenő volt. 1941 júliusában végrehajtották az első tájékoztató kísérletet. Ezután 1942-ben megvalósították az első atommáglyát Chicago-ban. [5] Az első atomreaktor beüzemelésére 1952-ben került sor az Egyesült Államokban, Arco városa mellett, de az első lakossági energiatermelésre alkalmas

erőmű csak 1954-ben az orosz Obnyinszk városában jött létre.[6] Az atomenergiát először az 1960-as évektől kezdték el felhasználni ipari célokra.

Ma már (2013-as adat) ~2000-4000 amerikai dollárba kerül egy reaktor telepítése kW-onként. A három legelterjedtebb reaktor a PWR (nyomottvizes), BWR (forralóvizes) és a nehézvizes reaktor. Ma már a III+ generációs reaktoroknál tartunk melyeknél a zónasérülés várható valószínűsége 10^{-6} / év. [7]. Ennek ellenére a történelemben előfordult két nagy atombaleset (Csernobil és Fukushima) miatt sokan kételkedve fogadják az újonnan épülő reaktorokat. Viszont, ha megnézzük a károsanyag kibocsátását egy atomerőműnek nem tapasztalunk kiemelkedő értékeket.

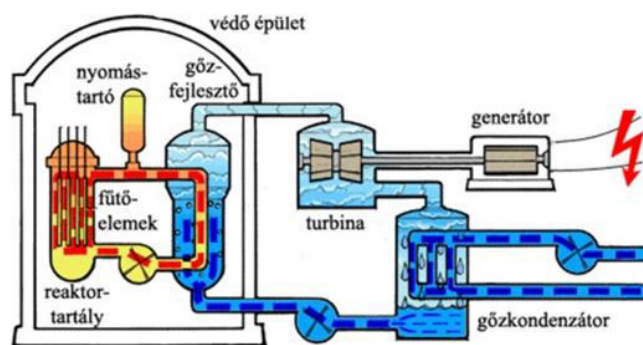
4.2 Főbb reaktortípusok bemutatása

A reaktorokat felhasználásuk szerint tudjuk osztályozni. Ezek a következők: kísérleti reaktor, kutatóreaktor, oktatóreaktor, zero teljesítményű reaktorok, hasadóanyag-termelő reaktorok és energiatermelő reaktorok. [6] Mi ebből a felsorolásból az utolsót fogjuk bemutatni, azon belül is a fentebb említett három típust, illetve egy 4. generációs reaktort.

A könnyűvizes reaktoroknak a két típusa a PWR és a BWR reaktor, amelyeknél a moderátor anyag "normál" víz. A nehézvizes reaktoroknak három típusát különböztetjük meg, ebből mi a CANDU-t (kanadai deutérium-uránium nyomott nehézvizes reaktor) fogjuk alaposabban megvizsgálni.

4.3 PWR (Pressurized Water Reactor)

Mint említett, ez a reaktor típus moderátor anyagként vizet használ, ami egyben a hűtőközege is. Ennek a reaktor típusnak az üzemanyaga az alacsony dúsítású urán. Két körre osztható, ezek a primer és szekunder kör. A primer körben a felszabaduló hő egy hőcserélő adja át a szekunder körű víznek, amely térben külön helyezkedik el. Ez a víz felforr és gőz formájában jut a turbinákhoz, majd a turbina után visszajut a gőz körfolyamatba.

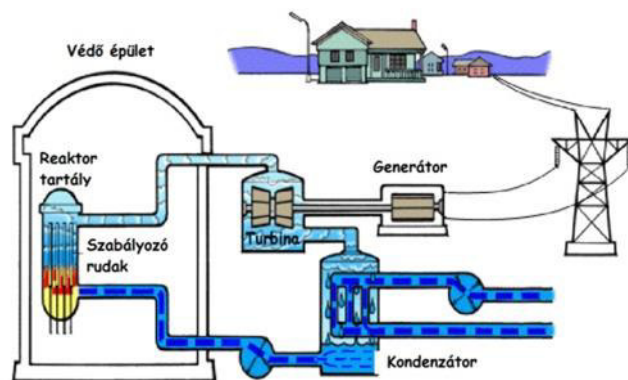


10. ábra: PWR reaktor [24]

A primer körben a vizet nagy nyomáson tartják, amely általában 12,3 MPa, míg a szekunder körben ez kisebb, csupán 4,3MPa. [8] A nagy primer oldali nyomás miatt a víz még ~300 °C körül sem forr fel. A nyomáskülönbség miatt a víz a szekunder körben felforr, ami miatt gőz keletkezik és ez kis- és nagynyomású turbinákhoz kerül (10. ábra). Miután a gőz elhagyja a turbinát a kondenzátorba kerül, ahol lecsapódik, ezzel a hűtővizet melegítve. A primer és szekunder kör is zárt, így a primer körből radioaktív anyag nem tud kikerülni és így a környezetbe sem tud kerülni.

4.4 BWR (Boiling Water Reactor)

Ennél a reaktornál is a hűtőközeg könnyűvíz, viszont a PWR-rel szemben ez a reaktor csak egykörös. A hűtőközeg ~10-20%-a elforr és leválasztás után a turbinákhoz kerül. [8]

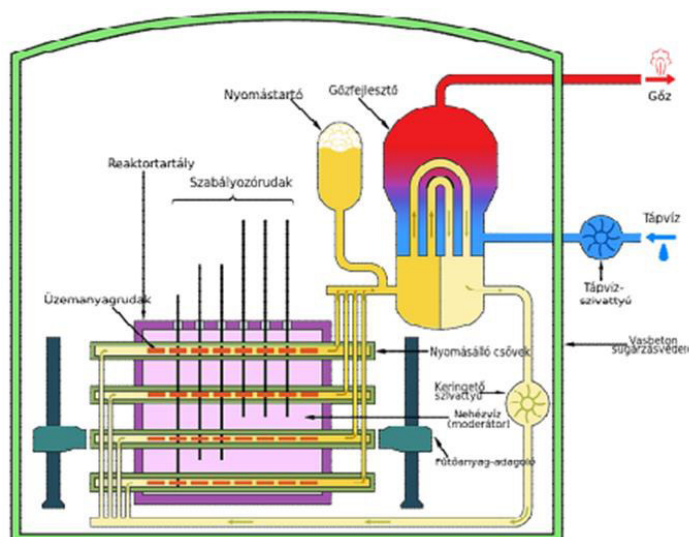


11. ábra: BWR reaktor [25]

Nagy hátránya ennek a típusnak, hogy a hűtővíz enyhén radioaktív és így a turbinák is enyhén szennyezettek lesznek. Továbbá az is érdekes ennél a reaktornál, hogy a szabályozó rudak lentől kerülnek a zónába, míg a többi reaktor típusnál szükség szerint ezek fentről gravitációval esnek bele (11. ábra).

4.5 CANDU (Canadian Deuterium Uranium)

A nevéből adódóan ezt a típust Kanada fejlesztette ki. Ennek a típusnak a hűtőközege könnyűvíz, viszont a moderátora nehézvíz. A fűtőanyag itt is enyhén dúsított urán (~2%) vagy akár természetes urán is. Nagy előnyük, hogy az üzemanyagot a reaktor leállítása nélkül is lehet cserélni a kialakítás miatt. A fűtőanyagok külön, nagy nyomásálló csövekben helyezkednek el, így külön-külön is fel lehet nyitni őket. Ezek a csövek egy nagy tartályon mennek keresztül, amely nehézvizet tartalmaz (12. ábra).

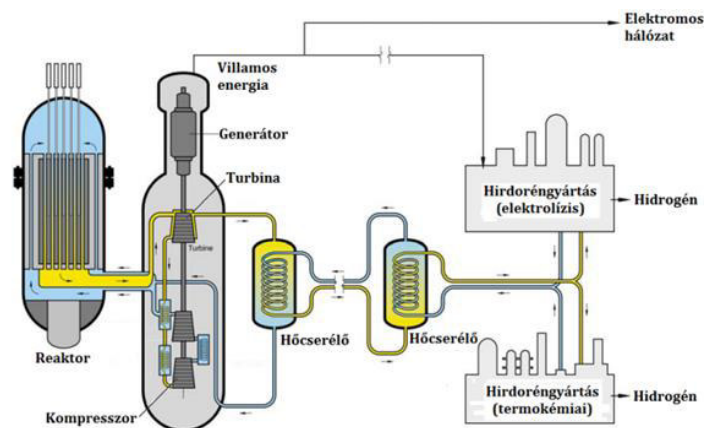


12. ábra: CANDU reaktor [26]

Mivel a reaktort nem kell leállítani az üzemanyagcella cseréléshez, mint a többi típusnál, ezért akár 3-4 hét üzemidővel tovább működnek évente. [8]

4.6 VHTR (Very High Temperature Reactor)

Ez a típusú reaktor jelenleg csak tervezés alatt áll melyet Oroszország és Kína fejleszt. Ez egy negyedik generációs reaktor, amely egy grafit moderátoros, de hélium hűtésű reaktor (13. ábra). A nagyon magas hőmérséklet jelen esetben 1000 °C-ot jelent. Az üzemanyaga lehet hagyományos uránium kazetta, melyet a fentebb említett típusoknál használnak, vagy lehetnek TRISO gömbök.



13. ábra: VHTR reaktor [27]

Ezek a gömbök urán- és tórium-dioxidból állhatnak, melyeket pirolitikus szénrel és szilícium-karbiddal vesznek körbe több rétegben. Ezek a gömbök lassan keresztül haladnak az aktív zónán és abból ki érkezve feldolgozhatóak. A magas hőmérséklet a termokémiai hidrogén gyártáshoz ideális, amely az egyik fő célkitűzés.

4.7 Paksi Atomerőmű

Külön szeretnénk kitérni a paksi atomerőműre, ugyanis a téma mellé érdemes megemlíteni hazánk legnagyobb energia előállítóját. Az erőmű építése először 1969-ben kezdődött meg majd több éves szünetet követően az 1970-es évek közepén újra indult, és az 1. blokk 1982-es üzembe állása óta oszlopos tagja a magyar energiatermelésnek. Több, mint 2000 MW-os villamos összteljesítménnyel bír, amelyet 4 db nyomottvizes reaktor blokk hoz létre. [9] Jelen esetben a fűtőanyag U^{235} , amelynél egy hasadás után 32 pJ energia szabadul fel. [8] A reaktor felépítése ugyanaz, mint a többi PWR reaktorok esetében, viszont itt a kondenzátorba kerülő hűtővizet a Duna szolgáltatja. Pakson mind a négy blokk II. generációs, viszont a 2000-es évektől kezdve több biztonság- és teljesítménynövelő fejlesztésen estek át.

5. Különleges energiaforrások

5.1 Napenergia

5.1.1 Napenergia múltja

Naprendszerünk legnagyobb energiaforrása, a Nap, melynek belsejében magfúziós folyamat zajlik, ennek melléktermékeként napsugárzás keletkezik, ami közvetlenül vagy közvetve összefügg a Bolygónkon felhasznált energiával. Valamennyi általunk ismert szerves organizmus élete függ a Naptól, vagyis csillagunk a földi élet egyik alapfeltétele. Az archaikus civilizációk mindegyike hasznosította a napfény energiáját, ami többek között az építési technikáikban érhető tetten: képesek voltak a Napból származó hőenergiát eltárolni estére. Időmérésre és tűzgyújtásra is felhasználták a napenergiát. A következő jelentős áttörésig egészen a XIX. századig kellett várni: Alexandre Edmond Becquerel 1839-ben fölfedezte a

fotoelektromos jelenséget, ami megnyitotta a napenergiára épülő villamosenergia-termelés felé vezető utat, bár az első napelem jóval később, 1885-ben került bemutatásra, ami Charles Fritts nevéhez fűződik. A találmány egy olyan szeléntábla, amit áttetsző, vékony aranyfilmmel vontak be, ami a Becquerel-hatást hasznosítva villamosenergiát állított elő. A koncepció szépséghibája, hogy a felhasznált anyagok drágák, mellesleg a szelén modulok gyorsan veszítenek teljesítményükből. Eme hátrányok, valamint a két világháború miatt háttérbe szorultak a napelemek, ezért csak az 1950-es években foglalkoztak újra ezzel az innovatív technológiával. A fő problémát a roppant alacsony hatásfok jelentette, amin szilíciumalapú, átlátszó műanyaggal bevont napelemekkel javítottak. 1954. április 25-én mutatta be Bell napelemeit, amelyek már nagyban hasonlítanak a napjainkban alkalmazottokhoz. [12]

5.1.2 Napenergia-felhasználás csoportosítása

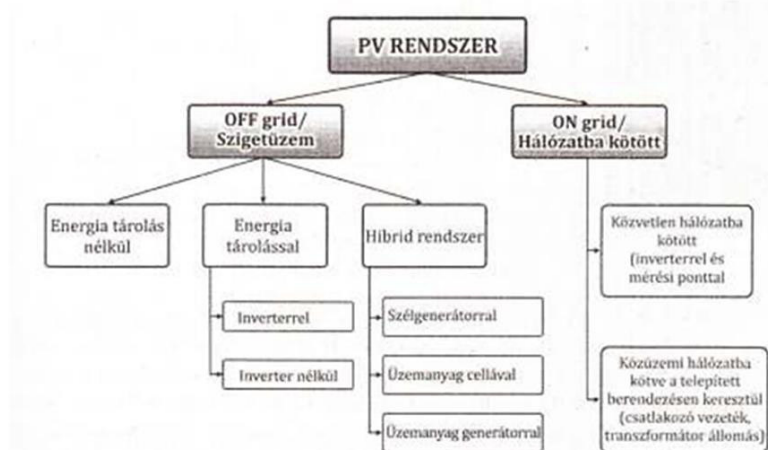
A napenergia-felhasználást passzív és aktív csoportokra bontjuk: passzív, ha periféria nélkül hasznosítjuk, vagyis tudatos tervezéssel, megfelelő építőanyagok felhasználásával csapdába ejtjük a napfényből származó hőt, és aktív, ha egy hőhordozó közeg közvetett módon továbbítja a hőt a felhasználási helyre, vagy a hőhordozó közegben olyan folyamat zajlik le, ami átalakítja más fizikai mennyiséggé a napenergiát (pl.: villamosenergia). Vagyis az üvegházak előbbi, míg a napkollektorok, napelemek utóbbi kategóriába tartoznak. [10]

5.1.3 Napkollektor

A napkollektorok begyűjtik a napenergiát, melyet egy úgynevezett hőhordozó közegnek (folyadéknak, levegőnek) adnak át, mely közegáramlás útján jut el a felhasználási helyre, vagyis kizárólag hőenergiát közvetít. A napkollektor egy alfaja a szolártároló, ami összegyűjti, és felhasználásig tárolja a hőenergiát. [10]

5.1.4 Napelem

A napelem cellák egyensúlyban lévő, pozitív és negatív töltésű részt tartalmazó diódákból állnak, melyek fényhatás nélkül egyensúlyi állapotban vannak, azaz a pozitív (p) és negatív (n) töltés közötti átmenetnél nem keletkezik feszültség. A napsugárzás következtében a dióda pozitív töltésű fele pozitív, míg negatív töltésű fele negatív feszültséget kap, melynek következtében a pn-átmenetnél fotoelektromos feszültség jön létre, alkatrészenként 0,4–0,5 V erősséggel. A diódák napelem cellákat alkotnak, melyek modulokban kerülnek forgalmazásra és sorba kötve alkotják a napelemeket. Megkülönböztetünk hálózatra kötött üzemű és szigetüzemű napelemeket, amelyek főbb feladatai és tulajdonságai az alábbi képről leolvashatók (14. ábra):



14. ábra: Napelenrendszer [28]

A napenergia csupán 0,1 %-át teszi ki a világ villamosenergia-termelésének. [11] Ám mivel előállításuk és telepítésük költséges, valamint relatíve alacsony hatásfokokkal üzemelnek, ezért joggal merül fel a kérdés, hogy mennyi idő alatt térül meg egy ilyen befektetés. A megtérülési idő jellemzően 8-10 év. Bár a költségek szignifikánsan csökkentek: 1960-ban wattként ezer (mai árfolyamon tízezer) dollárba került a villamosenergia előállítása (napenergia által), míg napjainkban egy 3kW méretű, magyar háztartási erőmű közelítőleg 2 millió forintból (4697 dollár) kiépíthető. [10] Világviszonylatban a legdinamikusabban fejlődő megújuló energiaforrás, melynek következtében a naperőművek beépített összes névleges teljesítménye 2013-ra globálisan elérte a 130 000 MW-ot.

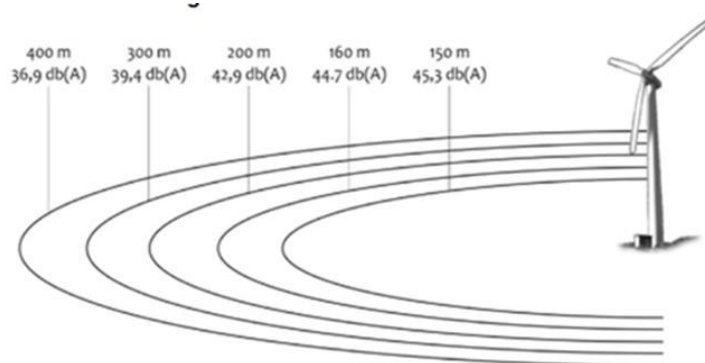
5.2 Szélenergia

5.2.1 Szélenergia múltja

A szél a napsugárzás erősségének következtében kialakuló hőmérséklet-különbség kapcsán bekövetkező légmozgás eredménye. [10] Eme légmozgást már az ókorban is hasznosították vitorláshajók formájában. [13] Időszámításunk előtt 200-ból, Perzsia területéről származnak a legrégebbi leletek, amelyek bizonyítják, hogy szélmalomokat használtak mezőgazdasági termelés céljából. A szélenergiát a XIX. század második felében kezdték el villamosenergia-termelésre használni, de csupán egy évszázaddal később terjedt el. Amerikában 1941-ben, Európában 1963-ban helyezték üzembe az első 1 MW teljesítményt meghaladó szélerőművet. [10] Dániában az 1970-es évek közepéig lokális szinten használták a szélerőműveket, de továbbfejlesztették a technológiát az olajkrízisnek köszönhetően. [14]

5.2.2 Szélturbina

A szélenergia alkalmazása során lehetőség nyílik a különböző sebességgel áramló levegő mozgási energiájának felhasználására. Az áramló légtömeg sebességének köbével arányos a szélerőművek által megtermelt energia. Napjaink szélerőművei 1,8–4 m/s és 9–11 m/s szélsősebesség között kezdenek el villamosenergiát termelni. 25 m/s szélsősebesség felett leállnak. A mérsékelt szélterületek, kiszámíthatatlan légmozgások, illetve az energia forrása és felhasználása közötti racionális távolság, valamint a zajártalom bizonyos korlátokat szab a szélturbinák elterjedésének. [10]



15. ábra: Szélerőmű telepítés [28]

A szélerőművek élővilágra, kiváltképp a madárvilág egyedszámára gyakorolt negatív hatása sem elhanyagolható, továbbá vegyes megítélésű a tájképre gyakorolt hatásuk is (15. ábra). [14] A keletkező hulladékok újrahasznosítása még megoldatlan.

6. táblázat: Szélturbinák csoportosítása [29]

Szélturbinák méret szerinti csoportosítása			
Méret	teljesítmény	felhasználás	
Kicsi különálló turbina	<10kW	fűtésre, akkumulátor töltésre	lokális nem hálózatra kötött
közepes és nagyméretű	több 1000kW		csoportosan szélparkokban

Egy szélturbina átlagos élettartama 30 év, megtérülési ideje 7-22 év, továbbá a szélerőművet alkotó anyagok jelentékeny része a szélturbina életciklusát követően újrahasznosítható. [10] A szélturbina alkalmazásával 260–570 g/kWh CO₂ és 0,26–0,57 g/kWh NO_x-kibocsátás megtakarítás érhető el, viszont egy 2 MW teljesítményű szélerőmű legyártása, felállítása, üzembe helyezése, működtetése és lebontása során annyi üvegházhatású gáz kerül kibocsátásra, mint az erőmű által nyolc hónap alatt megtakarított károsanyag-kibocsátás. [10] A szélenergia ma még kevesebb, mint 0,2%-át teszi ki a villamosenergia-termelésnek, de ez az egyik leggyorsabb ütemben terjedő termelési technológia. Az energiatermelés költségei, ugyancsak világszerte, nemrég még 20-30%-kal magasabbak voltak a konvencionális szén-, vagy gáz alapú termeléshez viszonyítva. [11]

5.3 Vízenergia

5.3.1 Vízenergia múltja

A víz energiájának hasznosítása a napenergia közvetett felhasználása. A planétánk felszínén fellelhető víz napsugárzás hatására nyer helyzeti energiát, melynek jelentős részét elveszíti a kicsapódást és földre hullást követően. A vízben tárolt, megmaradó energia mértéke attól függ, hogy a kicsapódott víz milyen tengerszint feletti magasságban ér földet. A víz tengerszint felé való közeledése során elveszíti helyzeti energiáját a mederhez, valamint a többi víz részecskéivel való súrlódása miatt, amely során hőenergia keletkezik. A napsugárzásnak köszönhetően a víz permanens körforgásban van, és energiakészlete folyamatosan megújul. [10] Már az ókorban kiaknázták a vízenergia eme előnyös tulajdonságait: vízikerekek segítségével mezőgazdasági termelés céljából alkalmazták az ókori Kelet nagy civilizációi. [10] A második ipari forradalom idején jöttek rá arra, hogy mekkora potenciál rejlik a vízben a villamosenergia-termelés aspektusából. 1882-ben helyezték üzembe a világ első

villamosenergiát előállító vízerőművét, amely Wisconsin államban, az Amerikai Egyesült Államokban állt. [14]

5.3.2 Vízerőmű

Azon része a vízben rejlő helyzeti energiának, mely felszabadítható a mederellenállás megszüntetésével, az hasznosítható villamosenergia-termelésre. A vízmélység növelésével és a vízsebesség csökkentésével redukálható a mederellenállás. A szükséges vízmélységet völgyzáró gátak vagy duzzasztóművek építésével lehet elérni, míg a vízsebesség csökkenthető az eredeti medernél kedvezőbb hidraulikai és meredekségű tulajdonságokkal bíró csatorna kialakításával. Mindezekkel megtakarítható és hasznosítható a sűrűlási energia 60–70 százaléka. [10] Bolygónk elméleti vízenergia-készlete 48 230 TWh, de ennek csupán töredéke műszakilag hasznosítható (ennek nagysága 16 000–20 000 TWh közötti). A világon üzemszerűen működő vízerőművek (közelítőleg 11000) által megtermelt villamosenergia-mennyiség 3000 TWh, vagyis a jelenlegi technológiák birtokában hasznosítható mennyiség elenyésző részét aknázzuk ki. [10] A vízerőműveket technológiájuk és teljesítményük szerint csoportosítjuk.

5.3.3 Vízerőművek technológiájuk szerint csoportosítva

A vízerőműveket három alaptípusba soroljuk. Az első csoportba a folyóvízi erőművek tartoznak, melyek a víz természetes lefolyását hasznosítva termelnek energiát. A fentiekben leírtaknak megfelelően, a vízsebesség csökkentésével növelhető eme típus hatékonysága. A második csoportba sorolandók a mesterségesen, gátak segítségével kialakított vízerőművek, amelyek tározó(k)ban lévő víz leeresztésével termelnek villamosenergiát. [10] A második csoport altípusai az alábbi táblázatban kerülnek részletezésre:

2. táblázat: Második típusú erőművek [30]

Másodiktípusú erőművek fajtái			
kis esésű erőművek	$H \leq 15 \text{ m}$	folyóvizek síkvidéki szakaszán építhetők, ahol a medret duzzasztógáttal zárják el	nem folyamatos energiatermelés
nagy esésű erőművek	$H > 50 \text{ m}$	vízfolyások hegyvidéki szakaszán telepíthetők, a víz összegyűjtését völgyzárógáttal végzi	Az erőmű nagy vízmennyiséget tárol, ugyanakkor viszonylag kis vízhozamot hasznosít

Az utolsó csoportot a szivattyús energiatározó erőművek képviselik, melyek a leeresztett víz visszapumpálását hasznosítva tárolják a villamosenergiát. Napjaink leghatékonyabb energiatároló rendszerei a szivattyús energiatározó erőművek. Eme technológia - eltérően a korábbiakban ismertetettektől - fő feladata, ahogy a neve is utal rá, az energia-raktározás, és nem a hálózatra való termelés, vagyis a vízerőművek harmadik típusa áthidalja a villamosenergia-termelés és -felhasználás közti időbeli eltérést. [10]

5.3.4 Vízerőművek kategorizálása teljesítmény szerint

A vízerőműveket teljesítményük szerint négy kategóriába osztjuk. 100 kW teljesítmény alatt törpe, 100 kW-nál nagyobb, de 10 MW-nál kisebb teljesítményű erőmű esetén kis, 10-100 MW között közepes, 100–1000 MW között nagy, míg felette óriás teljesítményű erőműről beszélünk. A kis és közepes vízerőművek úgynevezett alaperőműként funkcionálnak, azaz elsődlegesen regionális villamosenergia-igények kiszolgálását biztosítják. A nagy erőművek alap- és csúcserőműként is működhetnek, vagyis biztosítható velük a permanens, egyenletes termelés, vagy a csúcs-időszakokban kielégíthetik a megemelkedett villamosenergia-igényt is. [10]

5.3.5 Vízierőművek osztályozása

Üzemszerű szennyezőanyag kibocsátása elhanyagolható, azonban a létesítéssel járó környezet-átalakítás, a tározó létesítés általában jelentős ökológiai károkat, illetve átalakulásokat okoz.

3. táblázat: Vízierőművek osztályozása [30]

Kategória	Teljesítmény	Típus	Energiafelhasználás jellege	Beruházási költség
Kisléptékű	< 10 MW	folyóvízi	alaperőmű	2-4 millió USD/MW
Közepes	10-100 MW	víztározói	alaperőmű	2-3 millió USD/MW
Nagy	> 100 MW	víztározói	alap- és csúcserőmű	<3 millió USD/MW

További kockázati tényező a vízierőművek létesítésekor, hogy a gátak víztartó képességét folyamatosan ellenőrizni, karbantartani kell. A tározóban tárolt energia mindig hatással van a megépített műtárgyakra is. A víztartó képesség esetleges gyors csökkenése (gát-szakadás) katasztrófát jelenthet mind az természeti, mind az épített emberi környezetre nézve

Hátrány: 2008-ban megnyitott, Jangce folyón található Három-szurdok-gát a maga 22 500 MW névleges teljesítményével a világ legnagyobb erőműve. A gát megépítésével 90–100 métert emelkedett a folyó víz-szintje, mely 13 500 falut, 1,3 millió ember lakhelyét, számos veszélyeztetett növény és állat élőhelyét öntötte el.

4. táblázat
Magyarország vízenergiája [30]

	Kiaknázható villamos eljesítmény MW	Kiaknázott villamos teljesítmény MW	Hasznosítás aránya %
Duna	707	2	0,3
Tisza	99	40	40
Dráva	88	0	0
Egyéb	95	14	14,7
Összesen	989	56	5,6

A vízenergia fenntartható hasznosítása érdekében a vízierőművek tervezése és kivitelezése során figyelemmel kell lenni mind a környezeti, mind a szociális, mind a gazdasági tényezőkre.[10]

5.3.6 Bioenergia

A bioenergia, ideértve annak hagyományos (tűzifa, terméshulladék stb.) és az ipari jellegű (bioüzemanyag) formáját, együttesen 11%-át adja a világ energiatermelésének. Ezek az energiaformák természetesen mind széntartalmúak. Ezért, a szén-dioxid kibocsátás szempontjából csak akkor tekinthetők semlegesnek, a kibocsátást nem növelőnek, ha az e célra telepített energia-ültetvények legalább annyi széndioxidot elnyelnek, mint amennyi ezen anyagok elégetésekor a levegőbe kerül. (Nem ismert, hogy a fenti 11%-ból mennyi az energetikai céllal ültetett, CO₂-semleges források részaránya.) A bioenergia mennyisége is növekedhet, ám ennek határt szab a földterületek más irányú, a világ nagy részén még a növekvő népesség élelmiszerének megtermelésére koncentráló kihasználtsága. További korlát lehet a rendelkezésre álló víz mennyisége, mely egyre több térségben okoz gondot. A bioüzemanyag egyszer a közlekedés energia-igényének jelentős hányadát képes lehet kiváltani, de ehhez még jelentősen növelni kell a termelés mennyiségét és a konverzió hatékonyságát. [11]

A geotermikus energia, amely elsősorban hasznos hőt és gőzt biztosít egyes helyeken, de elektromosságot is termel bizonyos pontokon, összességében a világ energiatermelésének kevesebb, mint 0.1%-át szolgáltatja. Ahol bőségesen van a felszín alatt forró víz és gőz (pl. Izlandon), ott a költségek versenyképesek a fosszilis energiaforrásokéval. Ám az ilyen helyek száma kevés a világon, ezért a geotermikus energia kihasználása akkor fokozódhat a mai szint sokszorosára, ha sikerül technikai és gazdasági értelemben megoldani a nagy mélységek energiájának felszínre hozatalát. [11]

Már a múlt század közepén, 1958-ban beindítottak az első geotermikus energiával működő erőművet Új-Zélandon. [14]

Összegzés

Cikkünkben a célunk, az energiatermelés bemutatása volt adott példákkal az energiaválság hátterében. Áttekintettük az energiafelhasználást országos szinten, valamint világviszonylatban, és kitekintést tettünk a jövő energiája felé. Végig vettük az energiatermelés lehetséges fajtáit, és ezután bemutattuk a tényleges termelés lehetséges irányait. Megismertedtünk az atomenergia és a megújuló energiaforrások felhasználhatóságával, továbbá ezek gyakorlati alkalmazásával.

Összeségében megállapíthatjuk, hogy a múlt évszázadban az energetikában megjelent forradalmi újítások hosszú távon lehetővé tehetik a konvencionális termelési technológiáktól való függetlenedést. Képesek lehetnek szavatolni a fejlett államok diverzifikált villamosenergia-ellátását, továbbá csökkentik az emberiség károsanyag-kibocsátását. Elegendő műszaki ismeret áll az emberiség rendelkezésére ahhoz, hogy fenntarthatóbb energia-ellátása legyen. Optimizmusra ad okot, hogy az energia termelő és tároló technológiák folyamatos innovációk sorozatán keresztül végeláthatatlan fejlődésen mennek keresztül napjainkban is.

Hivatkozások

- [1] Molnár Ferenc, Jövőnk Energiája, Biztonságtudományi szemle 2. évf. 4. sz., 2020.
- [2] Molnár Ferenc, Jövőnk Energiája, Biztonságtudományi szemle 2. évf. 4. sz., 2020.
- [3] Molnár Ferenc, A hazai villamosenergia-ellátás biztonsága a fenntarthatóság tükrében, a karbonmentes források térnyerésének kérdései, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest 2022. június
- [4] Kovács, Imre. "Erőművek és erőműrendszerek." Iskolakultúra 3.21-22 (1993): 175-190.
- [5] Fizika Szemle 67. évfolyam 11. szám, 2017. december
- [6] Barina Balázs, Atomerőművek fejlődése a generációváltások tükrében, Hadmérnök 17. évfolyam (2022) 2. szám 99–112.
- [7] Fizika Szemle, 63. évfolyam 4. szám, 2013. április
- [8] Radnóti Katalin, Király Márton, Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük, Nukleon 8. évfolyam 177, 2015. április
- [9] Molnár Ferenc, Jövőnk Energiája, Biztonságtudományi szemle 2. évf. 4. sz., 2020.
- [10] Haffner Tamás, A megújuló energiaforrások alkalmazása a villamosenergia- és hőtermelésre I. Napenergia, Szélenergia, Vízenergia
- [11] Mika János, Kertész Ádám, Hagyományos és megújuló energiaforrások: kihívások és tendenciák, EDU 4. évfolyam, 2. szám

- [12] Tóth Anett, Voith Katalin, Napelem múltja, jelene és jövője, Multidiszciplináris tudományok, 9. kötet, (2019) 4 sz.pp. 221-228
- [13] Dietrich Lohrmann, "Von der östlichen zur westlichen Windmühle", Archiv für Kulturgeschichte, Vol. 77, Issue 1 (1995), pp.1–30 (10f.)
- [14] Szabó Zita, Sallay Ágnes, Az energiatermelés tájtörténeti szempontú áttekintése, Tájökológiai Lapok 18 (1): 45-64. (2020)
- [15] Molnár Ferenc, Jövőnk Energiája, Biztonságtudományi szemle 2. évf. 4. sz., 2020.
- [16] Molnár Ferenc, A hazai villamosenergia-ellátás biztonsága a fenntarthatóság tükrében, a karbonmentes források térnyerésének kérdései, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest 2022. június
- [17] Molnár Ferenc, Jövőnk Energiája, Biztonságtudományi szemle 2. évf. 4. sz., 2020.
- [18] Molnár Ferenc, Jövőnk Energiája, Biztonságtudományi szemle 2. évf. 4. sz., 2020.
- [19] MAVIR Bruttó Energia Termelés Priemer forrás szerint_2008_20220930-ig_HU
- [20] MAVIR Bruttó Energia Termelés Priemer forrás szerint_2008_20220930-ig_HU
- [21] Kováts, Imre. "Erőművek és erőműrendszerek." Iskolakultúra 3.21-22 (1993): 175-190.
- [22] Kováts, Imre. "Erőművek és erőműrendszerek." Iskolakultúra 3.21-22 (1993): 175-190.
- [23] Kováts, Imre. "Erőművek és erőműrendszerek." Iskolakultúra 3.21-22 (1993): 175-190.
- [24] Radnóti Katalin, Király Márton, Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük, Nukleon 8. évfolyam 177, 2015. április
- [25] Radnóti Katalin, Király Márton, Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük, Nukleon 8. évfolyam 177, 2015. április
- [26] Radnóti Katalin, Király Márton, Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük, Nukleon 8. évfolyam 177, 2015. április
- [27] Radnóti Katalin, Király Márton, Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük, Nukleon 8. évfolyam 177, 2015. április
- [28] Haffner Tamás, A megújuló energiaforrások alkalmazása a villamosenergia- és hőtermelésre I. Napenergia, Szélenergia, Vízenergia
- [29] Lukács Gergely Sándor (2010): Megújuló energiák könyve
- [30] Haffner Tamás, A megújuló energiaforrások alkalmazása a villamosenergia- és hőtermelésre I. Napenergia, Szélenergia, Vízenergia