Energetika II. házi dolgozat

Nukleáris energia hasznosítása hidrogén előállításához

Készítette: Pap Dávid Budapest, 2012.04.30.

Bevezetés

A házi dolgozatomhoz egy olyan témát választottam, amely jelenleg az atomenergetika fő kutatási területe és két-három évtizeden belül meg is valósulhat. Ez a kutatási és fejlesztési terület a negyedik generációs atomerőművek, amely széles nemzetközi projekt keretei belül valósul meg. Esszém témája azonban ezen erőművek felhasználása hidrogén előállításához. Először is az atomerőművek generációit mutatnám be, vagyis azt, hogy ezek a létesítmények milyen változásokon mentek keresztül az elmúlt 50 évben. Ezen belül is különös figyelmet szentelve a jelenleg még fejlesztés alatt álló negyedik generációnak. Ezt követően a hidrogénről írok általánosságban illetve bemutatom azokat az előállítási technológiákat, melyek a jövőben alkalmazhatóak negyedik generációs atomerőművek segítségével. Ez után azokról a reaktortípusokról írok, melyek felhasználhatóak az előző pontban bemutatott technológiákhoz. Végül összefoglalnám miért is lenne szükség erre a generációra és milyenek a jövőbeli kilátások.

Atomerőmű generációk

A világ első, energiát termelő atomerőművét 1954-ben [5] Oroszországban Obnyinszkban állították üzembe. Azóta az atomerőművek számos és jelentős fejlődésen mentek keresztül. Több mint ötven év fejlődés miatt érdemes az atomerőműveket életkoruk, generációk szerint csoportosítani.

Az első generációs erőművek soraiba tartoznak azok a létesítmények, amelyeket az ötvenes és hatvanas illetve a hetvenes évek elején helyeztek üzembe. Ezek jelentős része ma már nem üzemel, a maradék pedig élettartama végén jár. A ma is üzemelő első generációs erőművek több biztonságnövelő átalakításon estek át.

A második generációs erőművek alkotják a ma üzemelő erőművek legnagyobb részét. Itt már a tervezés során szigorúbb biztonsági elveket alkalmaztak. A második generációs erőművek az egyre szigorodó előírások miatt több biztonságnövelő módosításon estek át. A hazánkban üzemelő Paksi Atomerőmű is ebbe a generációba tartozik.

A harmadik generációs erőművek a jelenleg piacra kerülő típusok, a második generációs reaktorok továbbfejlesztett változatai. Ebbe a generációba tartoznak a fejlett erőművek. Ezek az erőművek tökéletesebbek a második generáció erőműveinél, mind gazdaságosság mind biztonsági szempontból, de típusuk, üzemanyagciklusuk nem különbözik azoktól. Ezt a generációt jelenleg rendkívül kevés erőmű képviseli a világban azonban a következő évtizedekben ilyen típusú erőművek létesülhetnek.

A negyedik generációs erőművek a jövő atomerőművei. Ez az előző típusoktól jelentősen eltérő, még kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező generáció. Az Egyesült Államok kormányzata 2000-ben kezdeményezte olyan új típusú, negyedik generációs atomerőművek kifejlesztését, amelyek 2025-2030 körül állhatnak üzembe. Az Egyesült Államok terveit nemzetközi összefogással kívánja elérni. Erre a célra alakult meg Generation-IV International Forum (GIF) 2000 januárjában. Ebbe a projektbe kezdettől fogva részt vesznek a nukleáris fejlesztésekben komoly szerepet vállaló országok ( Egyesült Államok, Kanada, Nagy-Britannia, Franciaország, Svájc, Argentína, Brazília, Japán, Koreai Köztársaság, Dél-Afrikai Köztársaság). 2003-ban az Európai Unió a nemzetközi projekt tagjává vált. Az EU eleinte csak négy reaktortípus iránt érdeklődött, ma már mind a hat irányt előnyben részesíti. 2006-tól Oroszország és Kína is tagja a GIF-nek. A Generation-IV projekt által perspektivikusnak tekintett, új reaktortípusok egyike sem előzmények nélküli, de jelenleg ilyen típusokat nem használnak. A szükséges fejlesztések csak nagyszabású kutatási programok megvalósításával érhetők el. Valamennyi típussal szemben alapvető követelmények a következők: gazdaságosság, a természeti erőforrások fenntartása, a keletkező hulladékok minimalizálása, biztonság és fenntarthatóság, katonai célra való felhasználhatatlanság. A negyedik generációs atomerőműveknél az hasadóanyag készletek eddigieknél lényegesen hatékonyabb hasznosítását kell megvalósítani. Az uránkészletek hatékonyabb hasznosítása a zárt üzemanyagciklus tökéletesítését és a tenyésztőreaktorok széleskörű alkalmazását, továbbá a termodinamikai hatásfok növelését igényli. Az atomenergia lakossággal történő elfogadtatása szempontjából nagyon fontos a hosszú felezési idejű radioizotópokat tartalmazó nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezése. A nagy aktivitás mellett további gond még a lassú bomlás, amely több százezer évig is eltarthat.[3] Ezt a problémát oldhatja meg a hosszú életű izotópok magreakciók útján történő átalakítása rövidebb életű, stabilabb izotópokká. Ezt nevezzük transzmutációnak. Ez a technológia olyan berendezést igényel, amelyekben a transzmutáció biztonságosan és jó hatásfokkal végbemehet.[3] További fontos követelmény a negyedik generációs atomerőművek fejlesztésében az üzemanyagciklus új átgondolása, új típusú üzemanyagciklus kifejlesztése. A GIF a nukleáris üzemanyagciklus négy osztályát definiálta: nyitott ciklus, plutónium részleges recirkulációja, teljes plutónium recirkuláció, transzurán elemek teljes recirkulációja. A kiválasztott hat reaktor-fejlesztési irány: nátriumhűtéses gyorsreaktor (SFR), Nagyon magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktor (VHTR), szuperkritikus nyomású vízzel hűtött reaktor (SCWR), ólom/bizmut hűtéses gyorsreaktor (LFR), gázhűtéses gyorsreaktor (GFR), sóolvadékos reaktor (MSR).

A hidrogénről általánosan

A hidrogén a világegyetem leggyakoribb eleme. Sok szempontból kedvező tulajdonságokkal rendelkezik. Nem környezetszennyező, nem korrozív, égéshője az ismert elemek közül az egyik legmagasabb. Napjainkban a hidrogént a jövő környezetbarát energiahordozójaként is emlegetik, mivel enyhítené a fosszilis energiahordozóktól való függésünket valamint felhasználásával csökkenne a szén-dioxid kibocsátás. Továbbá úgy vélik, hogy általános közlekedési üzemanyaggá fog előlépni, ezáltal rendkívül megnő a kereslet a hidrogén iránt. Hidrogénnel főként vegyületekben találkozhatunk, a vízben és szinte minden szerves vegyületben jelen van. A tiszta hidrogén előállítására különféle technológiai eljárások léteznek. A jelenleg használt előállítási módok nem túl környezetbarát technológiák. A hidrogén 95%-át fosszilis energiahordozókból állítják elő. Ezen belül is a legnagyobb részarányt a földgáz képviseli. Az előállított hidrogén 50%-át földgázból, vagyis metánból állítják elő. Jelentős még a szénből (16%) illetve kőolajból (30%) történő előállítás is.[1] Ezen technológiák közös jellemzője, hogy nagy üzemekben valósulnak meg, melyek jelentős szén-dioxid kibocsátással rendelkeznek. Legnagyobb előnyük, hogy jelenleg ezek a leggazdaságosabbak, legolcsóbbak. Ahhoz, hogy a hidrogén jelentős szerepet kapjon a mindennapokban, még sok problémát kell megoldani. A hidrogén igen illékony, robbanásveszélyes gáz, aminek tárolása és a fogyasztókhoz való eljuttatása jelenleg még nem megoldott probléma, továbbá veszélyes és költséges. Ehhez egy teljesen új, még nem létező rendszert kellene kiépíteni.

Alkalmazható előállítási technológiák

Nukleáris energia felhasználásával történő hidrogén előállítására alapvetően három út létezik. A hidrogén előállítás történhet elektrokémiai, termokémiai illetve hibrid termokémiai eljárással. Az elektrokémiai eljárások közé tartozik az elektrolízis. Elektromos áram segítségével az elektrolitba merülő elektródák felszínén vízbontás játszódik le. Ez a folyamat a jelenleg legtisztább előállítási mód, melynek nagyüzemi kivitelezése is megoldott. A folyamathoz szükséges áramot bármilyen erőművel előállíthatjuk, így erre bármelyik atomerőmű megfelel.

A folyamat során a következő reakció játszódik le: H2O → 0,5 O2 + H2 [2]

A széleskörű elterjesztés érdekében elektrokémiailag stabil elektródákat kell kifejleszteni és az eljárás költségeinek drasztikus csökkentését kell megoldani. A víz helyett alkalmazhatunk hidrogén-bromidod is. A hidrogén-bromid bontása feleannyi áramot igényel, mint a közvetlen vízelektrolízis, és a hidrogén kinyerése gazdaságosabban megvalósítható. A hidrogén-bromid bomlását magas hőmérséklettel elősegíthetjük, ami tovább növeli a rendszer hatékonyságát.

A lejátszódó reakció a következő: 2HBr → Br2 + H2
A HBr regenerálás metán alkalmazásával valósítható meg: CH4 + 2Br2 → C + 4HBr

A technológia tehát csak hidrogén és szén előállításával jár, ami környezeti szempontból rendkívül előnyös.[2]

A termokémiai eljárások termikusan segített kémiai reakciók melynek során hidrogént állítunk elő például vízből. Többféle alternatív termokémiai folyamat létezik, amely az atomreaktor kilépő magas hőmérsékletét használja fel, mint elsődleges hőforrás.
Ilyen előállítási mód például a gőz-metán átrendeződés. Ez ma a leggazdaságosabb módja a hidrogén üzemi mértékű előállításának. A földgáz tisztítása után a gázt túlhevített gőzzel együtt egy katalizátor felülete mentén engedik át, kellően magas 850-900 °C -os hőmérsékleten. A metán ilyen körülmények között szén-monoxiddá oxidálódik miközben hidrogén szabadul fel. A keletkező szén-monoxid vízgőzzel reagálva kémiai reakción megy keresztül melynek eredményeképpen szén-dioxid és hidrogén keletkezik. A végső lépés a keletkező hidrogén tisztítása. A technológia megvalósításához elengedhetetlen megfelelően magas hőmérséklet, valamint aktív nikkel tartalmú katalizátor.

Részleges metán oxidáció: CH4 + H2O → CO + 3H2 [2]
CO oxidáció: CO + H2O → CO2 + H2 [2]

Az eljárás legnagyobb hátránya, hogy jelentős mennyiségű szén-dioxid keletkezik.
A magas hőmérsékletű atomreaktorok szolgálhatnak hőforrásként, így nem kell földgázzal üzemelő hőforrásokat alkalmazni és csökken a szén-dioxid kibocsátás. Azonban a folyamat miatt továbbra is szükség van földgázra alapanyagként és ez szén-dioxid kibocsátást eredményez.

Egy másik eljárás a Ca-Br-Fe ciklus amelyet először a Tokiói egyetemen fejlesztettek ki. Ez a ciklus magába foglalja a szilárd és gáz kölcsönhatásokat, amely megkönnyíti a reagens termékek elválasztását. Ez a következő reakciókból áll:

CaBr2 +H2O → CaO + 2HBr
CaO + Br2 → CaBr2 + 0,5 O2
Fe3O4 + 8HBr → 3FeBr2 + 4 H2O + Br2
3FeBr2 + 4H2O → Fe3O4 + 6HBr + H2 [2]

Az előbbi reakciók termodinamikai szempontból kedvezőek. A hidrogén előállítás hatásfoka azonban csak 40% körüli a CaBr2 760°C-os olvadáspontja miatt.[2]

Termokémiai eljárások közé tartozik egy többlépcsős termokémiai eljárás is. A többlépcsős termokémiai eljárás az alábbi három lépcsőt tartalmazza.
Első lépés az alacsony nyomású és magas hőmérsékletű endoterm kénsavbontás vízzé, oxigénné és kén-dioxiddá:

H2SO4 → H2O + SO2 + 0,5 O2 [3]

Második lépésként a jódot az előző lépésben keletkezett SO2-vel reagáltatva hidrogén-jodidot állítunk elő.

I2 + SO2 + 2H2O → 2 HI + H2SO4 [3]

Harmadik lépésként pedig a második lépésben keletkező hidrogénjodid disszociáltatása körülbelül 450 °C-on nagy nyomású hidrogénné és jóddá.

2 HI → H2 + I2 [3]

A többlépcsős eljárás során lényegében H2SO4-et és jódot alkalmazva katalizátorként vízbontást hajtottunk végre, vagyis a vizet hidrogénre és oxigénre választottuk szét.

A nettó reakció tehát a következő: H2O → H2 + 0,5 O2. [3]

A reakció lejátszódásához nagyon magas hőmérsékletre van szükség, körülbelül 700-1000 °C-ra. Ezt a magas hőmérséklet negyedik generációs atomerőművekkel is biztosítható, mivel ezen erőművek feladata nem csak a villamosenergia-termelés, hanem adott esetben mely típusoknál erre lehetőség van folyamathő előállítása, amelyet hidrogén termokémiai előállítására lehet hasznosítani.

A harmadik eljárás a hibrid termokémiai folyamat. Hibrid termokémiai eljárás egy kombinált folyamat, amelyben mind termokémiai mind pedig elektrokémiai folyamatok lejátszódnak. Ez lehetőséget ad arra, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű reakciókat felhasználjuk elektrokémiai vízbontásra. Ennél a technológiánál a hidrogént elektrolízissel állítjuk elő, az atomreaktor által termelt folyamathőt pedig egyéb termokémiai reakciókhoz használjuk fel. Így lehetőség van arra, hogy a hidrogén előállítása a reaktortól távol történjen, így növelve az előállítás biztonságát. Ezzel a technológiával csökkenthető a hőveszteség, ami a hő szállítása során merülne fel. Így energetikai szempontjából ez a technológia rendkívül hatékony. [2]

Alkalmas reaktortípusok

A negyedik generációs atomerőművek közül az alábbiak alkalmazhatóak hidrogén előállításához: nagyon magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktor, gázhűtéses gyorsreaktor, ólom/bizmut hűtéses gyorsreaktor, sóolvadékos reaktor.

A nagyon magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktor (VHTR) termikus neutronnal üzemel és nyitott üzemanyag ciklusú. A villamosenergia-termelés mellett felhasználható még magas hőmérsékletű folyamathő előállítására, például szénelgázosítás és termokémiai hidrogéntermelés céljából. Fejlesztése a grafit-moderátoros, héliumhűtésű reaktorok tapasztalatain alapul, ezért gyors kifejlesztése és rendszerbe állítása várható. Hűtőközege hélium, az aktív zóna cirkónium-karbid szemcséket vagy rudakat tartalmaz. A hűtőközeg 1000 °C körüli kilépési hőmérséklete miatt alkalmas nagyon jó hatásfokú villamosenergia-termelésre, valamint termokémiai eljárással történő hidrogén-előállításra. Egy hidrogéntermelésre tervezett 600 MW teljesítményű VHTR több mint kétmillió normálköbméter hidrogént képes előállítani naponta.[1] A hő- és villamos energia kapcsolt termelése ezt a reaktort vonzó energiaforrássá teszi nagy ipari létesítményekhez. A hőhordozó 1000 °C feletti kilépő hőmérséklete [1] lehetővé teszi, hogy a nukleáris hőt felhasználjuk olyan folyamatokhoz, mint például az acél- és alumíniumgyártás. A nagyon magas hőmérsékletű gázhűtésű reaktor biztonsági szempontból nagyon megbízható, nem teszi lehetővé a katonai célú alkalmazást továbbá a magas termikus hatásfok és a hidrogéntermelés miatt gazdasági szempontból kiemelkedő.

Egy másik típus, amely szintén alkalmazható hidrogén előállítására az a gázhűtéses gyorsreaktor (GFR). Ez a reaktor gyorsneutronnal üzemel, héliumhűtéses, zárt üzemanyag-ciklus valósul meg ennél a típusnál, magas kilépési hőmérséklettel. A kilépő magas hőmérséklet miatt az erőmű alkalmas termokémiai úton történő hidrogén előállítására. A gázhűtéses gyorsreaktor integrált kivitelben is megvalósítható, a kiégett üzemanyag reprocesszálható a helyszínen és az összes hosszú felezési idejű radioizotóp az üzemanyagba történő beépítése után visszavezethetők a reaktorba transzmutálás céljából. Így minimalizálható a nukleáris anyagok szállítása és a hulladékok mennyisége. A kemény gyorsneutron-spektrum jó hasadóanyag-szaporító képességet és magas transzmutációs hatékonyságot kölcsönöz ennek a reaktornak.[2] Az előbbi a rendelkezésre álló nukleáris üzemanyagkészletek, köztük a kiégett uránt tartalmazó dúsítási maradékok hatékony hasznosítását, az utóbbi a hosszú életű transzuránokat tartalmazó radioaktív hulladékok mennyiségének nagymértékű csökkentését eredményezi. A GFR kielégíti a nemzetközileg meghatározott alapelveket és követelményeket, így a fenntarthatóságot vagy például a gazdasági versenyképességet. Megakadályozza az atomfegyverek elterjedését, továbbá biztonságos és megbízható robosztus kialakítása miatt. Több korábbi magas hőmérsékletű gázhűtéses reaktor üzemi adatai állnak rendelkezésre, így gyors megvalósításának feltételei adottak a kutatók és fejlesztők számára.

Hidrogén előállításához szükséges kellően magas hőmérsékletet biztosíthatjuk folyékony ólom vagy folyékony ólom-bizmut hűtésű, gyorsneutronnal üzemelő reaktorral. Legfontosabb jellemzője és előnye a zárt üzemanyagciklus, az aktidnidák transzmutációja és a 238U hatékony átalakítása plutóniummá. Az üzemanyag fém- vagy szilárd nitrid alapú szaporítóanyagot és transzuránokat tartalmaz. A hőhordozó közeg magas kilépési hőmérséklete miatt alkalmas folyamathő hasznosításra, például hidrogén előállításra vagy tengervíz sótalanítására.[2] Az ólom és ólom-bizmut hűtőközeg előnyösebb neutronfizikai jellemzőkkel rendelkezik a nátriumnál. Emiatt jobb a hasadóanyag-szaporító képessége a reaktornak és hosszabb kampányhosszal rendelkezik. Ez a típus lehetővé teszi, hogy zárt üzemanyagciklusú és megnövelt inherens biztonságú atomerőművek épüljenek. Az ólom nem lép reakcióba a vízzel, ami egyszerűbb felépítést eredményez. A reaktort villamosenergia-termelésre, hőszolgáltatásra valamint hidrogén és ivóvíz együttes előállítására tervezik.

További alkalmas reaktortípus a sóolvadék hűtésű reaktor (MSR). Ebben a reaktorban üzemanyagként és hűtőközegként is urán- és/vagy plutónium-fluoridot tartalmazó olvadt sókeverék szolgál. Az MSR-ek üzemi hőmérséklettartománya az eutektikus fluoridsók olvadáspontjától a jelenleg felhasználásra alkalmasnak minősített szerkezeti anyagok kémiai kompatibilitási hőmérsékletéig terjed. Ez a típusú reaktor alkalmas a sóolvadékba kevert aktinidák rendkívül hatékony elhasítására, valamint hasadó anyagokká történő átalakítására. Ha elsősorban villamosenergia-termelésre használjuk a reaktort, akkor az aktinidákat jól oldó fluoridokat, ha a hőszolgáltatáshoz kívánunk kellően magas hőmérsékletet biztosítani, akkor pedig a lítium és a berillium fluoridjait alkalmazzák hűtőközegként. Az sóolvadék hűtéses reaktor a zárt üzemanyagciklus és a radioaktív hulladék hatékony kiégetése miatt a fenntarthatóság szempontjából rendkívül kiemelkedő. Gazdaságossága elsősorban a alkalmazási körülményektől függ.

Jövőkép

A nukleáris energiának köszönhetően megvan annak a lehetősége, hogy szén-dioxid kibocsájtás nélkül állítsunk elő hidrogént gazdaságosan. Az előállított hidrogén pedig a mindennapi életünkben használt általános energiaforrás lehet a jövőben. Ennek a karbon-mentes előállításnak azonban feltétele a negyedik generációs atomerőművek megvalósítása. A széleskörű nemzetközi összefogás eredményeként akár két-három évtizeden belül meg is épülhet az első létesítmény. A negyedik generációs erőművek kifejlesztése áttörést hozhat a társadalmi elfogadottság területén is. Ez a generáció a fenntartható fejlődést jobban szolgáló energiatermeléssel kecsegtet, valamint a radioaktív hulladékok mennyiségégnek jelentős csökkentése és katonai célokra való felhasználhatatlansága is biztosított. Továbbá ezek a létesítmények nem csak villamosenergia-termelésre használhatók, hanem hőszolgáltatáshoz, hidrogén előállításhoz és tengervíz sótalanításához is alkalmazható. Ha az atomerőművek építési ütemi a jövőben is a jelenlegi szinten marad, akkor elképzelhető, hogy csak néhány harmadik generációs erőmű fog épülni. Így megvalósulhat, hogy részben a harmadik generációt átugorva a negyedik generációs atomerőművek fognak elterjedni a világon.

Irodalomjegyzék

[1] Rachel Elder, Ray Allen – Nuclear heat for hidrogen production: Coupling very high/high temperature reactor to a hydrogen production plant – Progress in Nuclear Energy 51 (2009) 500-525
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149197008001376>)
[2] Bilge Yildiz, Mujid S. Kazimi – Efficiency of hydrogen production system using alternative nuclear energy technologies – International Journal of Hydrogen Energy 31 (2006) 77-92
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319905000583>)
[3] Dr. Csom Gyula – Atomerőművek – Magyar Atomfórum Egyesület (2004)
[4] Gadó János – A maghasadáson alapuló energiatermelés jövője – Magyar Tudomány, Atomenergia (2007/01)

[5] **Veres Árpád – A nukleáris hulladékkezelés újabb irányai – Fizika Szemle 2005/4. 122.o.**