

ERŐMŰVEK CO₂ KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSE CCS TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZÁSÁVAL

Reduction of CO₂ emission of power plants by application of CCS technologies
Reduzierung des CO₂ Emission der Kraftwerken durch Verwendung von CCS Verfahrens

Dr. Kapros Tibor

Abstract

The CO₂ contamination of the atmosphere is playing significant role at the global warming. More than 40% of the total emission is connected the operation of power plants. The producing of electricity by CO₂ free processes has stressed importance. Despite the increasing application of nuclear and renewed energy, the fossil fuels represent significant rata in long term period as well. The spreading of CCS technologies is unavoidable.

Although the references are operating reliably, the process of commercialization of these methods became somewhat slower. It is caused by the economic crises, and the high investment costs, but can be led back to the lack of suitable legislative background too. At present only cca 2,5 ‰ of CO₂ emitted by power plants is captured and stored. The paper introduces some newest realization including a new process for producing of hydrogen.

Bevezetés

Földünk éghajlatát az utóbbi évtizedekben mind közvetlen hatásukat mind tendenciájukat tekintve kedvezőtlen változások jellemzik. A jelenségek magyarázata az üvegház jelenség kétségtelenül érvényesülő hatására összpontosul. Jóllehet a fenti hatás mértékének és ezen belül az emberi tevékenység szerepének megítélésében jelentős különbségek érzékelhetők. A globális melegedéshez vezető kedvezőtlen folyamatok tudatos cselekvéssel történő befolyásolására ugyanakkor korlátozottak a lehetőségeink. Erre érdemi mértékben az antropogén eredetű üvegházhatású gázok – mindenek előtt a széndioxid - kibocsátásának csökkentése ad módot.

Az emberi tevékenységhez kapcsolódó befolyásolható mértékű széndioxid termelése elsősorban a karbontartalmú anyagok tüzeléséhez kapcsolódik. Az erőműveknek ebben a tekintetben kiemelt szerepük van. Egyrészt a teljes széndioxid emisszió több mint 40%-t az erőművek bocsátják ki [1] és ez a mennyiség napjainkban már meghaladja a 12 Mrd t/év értéket [2]. Másrészt a CO₂ termelés és emisszió koncentráltan történik, ami lehetőséget ad a csökkentést eredményező technológiák elviselhető költségszint melletti alkalmazására.

Erőművek széndioxid kibocsátása, várható tendenciák

Az erőművek széndioxid kibocsátását döntően határozza meg az alkalmazott primer energiaforrás. A villamos vagy hőenergia előállításánál alkalmazott technológia a fajlagos primer energiafogyasztáson

keresztül ugyancsak jelentősen befolyásolja az emisszió mértékét. A kibocsátás egyszerűsített vizsgálata az erőművekben közvetlenül jelentkező – a tüzelési folyamathoz kapcsolódó – emissziós adatok alapján történik. A tüzelőanyagok összehasonlítására azonban korrektebb információ nyerhető u.n. életciklus vizsgálattal, ahol a primer energiaforrás előállításával, szállításával, tüzelésre való alkalmassá tételével kapcsolatos járulékos emissziós értékek és az elektromos energia előállítás hatásfoka is figyelembe vételre kerül. Az 1. sz. táblázat néhány jellemző energia hordozó és erőműi technológia közvetlen és az életciklus alapján meghatározott CO₂ kibocsátási adatait tartalmazza a fűtőértékre ill. a termelt villamos energia egységére vetítve [3], [4] (a középső oszlopban MJ helyett az összehasonlíthatóság érdekében szerepel a GWh dimenzió).

Az erőművek üzemeltetési adataként nyilvánvalóan a közvetlen kibocsátási értékek kerülnek figyelembe vételre. Az életciklus adatok elsősorban az erőmű fejlesztési stratégiák környezetvédelmi értékeléséhez szolgáltatnak információt. A biomassza esetében az életciklus adat már nem tartalmazza az eltüzelés során keletkezett széndioxid mennyiséget. A táblázat az erőművekben jellemzően alkalmazott növényi eredetű szilárd anyagokra – faapríték, pellet, szalma – vonatkozik. Vizsgálatok szerint a szalmatüzelés életciklus kibocsátási adata közel kétszerese a faaprítékénak [5]. A pelleté lényegesen alacsonyabb, azonban a szárítás és szállítás folyamatában képződő CO₂ ennek értékét jelentősen megnöveli [6].

A megújuló energiák többségénél az életciklus során jelentkező széndioxid kibocsátás a berendezés(ek) létesítéséhez kapcsolódik. A biomassza kivételt jelent, mert itt az energiahordozó előállítása is érzékelhető mennyiségű emissziót generál. További kérdéseket vet fel, hogy jöllehet a tüzelési folyamat rendeltileg CO₂ kibocsátás mentes tevékenység, azonban a zöld növény általi CO₂ adszorpció és a tüzelési folyamatból adódó emisszió térbeli és időbeni elkülönülése még globális egyensúly esetén is generál problémákat (erdőirtások, lokális klímaváltozások, a kivágott és ültetett fa CO₂ megkötő képességének különbsége, a fák „aktív” életének megrövidítése). A fosszilis energiahordozókkal szemben a biomassza tüzelés CO₂ emisszió szempontjából természetesen így is kedvezőbb megoldást jelent.

Primer energia	Közvetlen kibocsátás (tCO ₂ /GWh)	„Életciklus” kibocsátás (t CO ₂ /GWh)
Lignit	360	1060-1370
Szén	340	800-1100
Fűtőolaj	280	650-870
Földgáz	200	400-500
Biomassza*	390	20-100
Napenergia	-	40-100
Tározós vízi erőmű	-	5-20

Folyami vízi erőmű	-	5-30
Szélenergia	-	7-20
Nukleáris energia	-	10-40

Forrás: *Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment Copyright* □ 2004 World Energy Council

1. sz. táblázat Erőműi széndioxid kibocsátás

A villamos energiának széndioxid kibocsátás mentes termelésére a nukleáris és megújuló energiaforrások képviselik az optimális megoldást. Az energiaforrások szerkezetére vonatkozó prognózisok és nemzeti energia stratégiák ezek részarányának növelését jelölik meg ill. tűzik ki célul. Ezzel együtt azonban a fosszilis energiahordozók a villamos energiatermelésnek továbbra is egyik meghatározó bázisát jelentik. Az Emissziómentes Fosszilis Tüzelőanyagú Erőművek Európai Technológiai Platform (ETP ZEP) középtávú előrejelzése szerint 2030-ban a termelt elektromos energiának legkevesebb 40%-a szén ill. gázüzemű erőművekben kerül előállításra [7].

Az EURELECTRIC 2050-re vonatkozó „Baseline” scenáriója Európában 4800TWh villamos energiatermelést prognosztizál. Ennek kevesebb, mint egyharmadát üzemeltetik fosszilis primer energiahordozóval. A CO₂ kibocsátást 750 mt-ban állapítja meg. A „Power Choices” scenárió 20%-s villamos energiatermelés csökkentés mellett tovább redukálja a fosszilis energiahordozók részarányát. Az előrejelzés mintegy évi 150 mt kibocsátást tűz ki célul. A „Baseline” változatnál ugyanakkor az 1. sz. táblázat adatai alapján mintegy 1100 mt/év CO₂ emisszió adódik.

Az adatokból nyilvánvaló, hogy belátható időn belül a karbontartalmú fosszilis energiahordozók nélkülözhetetlen primer energiaforrást jelentenek. A fenti adatok Európára vonatkoznak. A világ teljes széndioxid kibocsátása meghaladja a 30 Mrd tonna /év értéket, ami az európai emisszió közel hétszerese. A globális erőműi kibocsátás esetében ez az arány kb. kilencszeresre nő - elsősorban a nagy energiafogyasztó államokban elterjedten alkalmazott, korszerűtlen széntüzelési technológiákra visszavezethetően.

A széndioxid kibocsátás csökkentésnek legkedvezőbb módja nyilvánvalóan a CO₂ képződés mérséklése az energia hatékonyság javítása által. Hasonlóan a nukleáris és megújuló energiaforrások alkalmazásához azonban itt sincsenek akkora tartalékok, amelyek biztosíthatnák a szükséges emisszió csökkentést. Az üvegház hatás mértékének elvárt erőteljes csökkentése elkerülhetetlenné teszi a széndioxid leválasztáson alapuló erőműi tüzelési folyamatok - a CCS (Carbon Capture Storage) technológiák - alkalmazását.

A magyarországi kibocsátás volumenét tekintve globális viszonylatban ugyan nem számottevő, de az uniós és más nemzetközi kötelezettségeknek meg kell felelnünk. A Nemzeti Energiastratégia a villamos energia előállításával kapcsolatos CO₂ kibocsátás mértékét közelítőleg 200 t/GWh-ban állapítja meg [9]. Ennek elérése megújuló és nukleáris energiákra alapozott áramtermelés részarányának növelése mellett hazai viszonylatban is szükségessé teszi az erőművek egy részénél a

karbon leválasztási eljárások bevezetését. Az EU 2050-re tervezett kibocsátás csökkentésnek prognózisa szerint 19-24%-a CCS technológiák alkalmazásából fog származni [10]. Elemzések kimutatták, hogy a globális felmelegedés elfogadható mértékre történő csökkentése 2035-ig globálisan mintegy 36 trillió USD összegű erőművi beruházást igényel. CCS technológiák alkalmazása nélkül a program kb. 70% költség többlettel lenne megvalósítható [11].

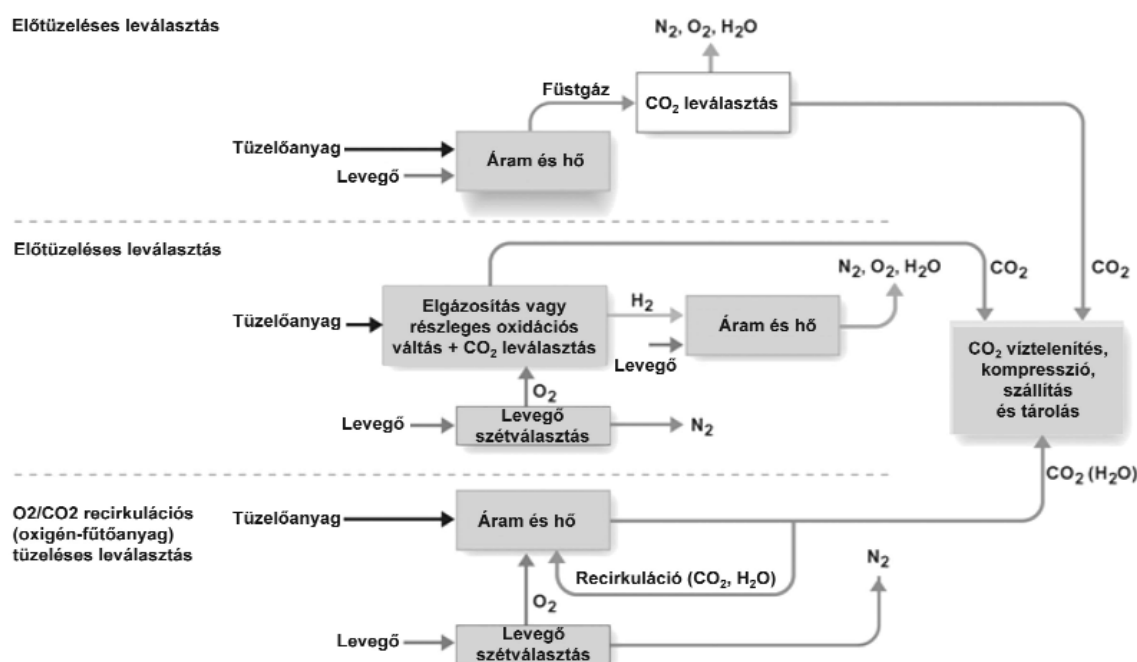
A továbbiakban a fenti technológiák műszaki alapgondolatai, és erőműi alkalmazásuk jellemző példái kerülnek bemutatásra.

A CCS technológiák összefoglaló jellemzése

A fosszilis energiahordozók eltüzelése során azok karbontartalma széndioxiddá alakul. A CCS folyamatokat a CO₂-nek a gázelegyből történő leválasztása és folyamatból történő eltávolítása majd tárolása ill. a széndioxid képződés megelőzése jellemzi. A technológiai célkitűzés megvalósítását három más területen már korábban alkalmazott módszer teszi lehetővé [12], [13], [14], [15].

- A CO₂ leválasztása a primer tüzelőanyagnak levegővel történő elégetését követően (*post combustion capture*).
- A primer tüzelőanyagot reaktorban elgázosítják, a gázelegyet konvertálják, majd a keletkezett széndioxidot még a tüzelési fázis előtt leválasztják a rendszerből (*pre combustion capture*).
- Oxigénes tüzelés alkalmazásával a vízgőzt és CO₂-t tartalmazó füstgázból a szén-dioxid egyszerű módszerrel leválasztható (*oxifuel combustion technology*).

A három eljárás egyszerűsített technológiai vázlatát az 1. sz. ábra mutatja be.



Forrás: The European Technology Platform for ZEP Strategic Deployment Document 2006

1. sz. ábra CCS technológiák

Széndioxid leválasztás a tüzelési fázis után („post combustion” eljárás)

A technológia a szokásos tüzelési fázisra és egy füstgáztisztítási műveletre különíthető. A fosszilis anyagok levegővel történő eltüzelésénél képződött füstgáz meghatározó komponensei a nitrogén, a vízgőz és a széndioxid. Szennyezőanyagként szénhidrogén vegyületek, szénmonoxid ill. szén és olajtüzelés esetén a kén és vanádium vegyületek is megjelennek. A CCS technológia a CO₂ leválasztásra összpontosul. Az alkalmazott leválasztási technológiától függően szükség lehet a fenti szennyezőknek egy előzetes füstgáz tisztítási fázisban történő eltávolítására.

A széndioxid leválasztására négy, más szektorokban már alkalmazott módszer kínálkozik.

- A gáznak abszorpciós folyamatban történő elnyelése
- Szilárd adszorbens alkalmazásával történő leválasztás
- Karbonizáló-kalcináló eljárás
- Anti-szublimációs eljárás
- Membrán-szeperációs eljárás.

Jelenleg a jelentős vegyipari referenciákkal rendelkező **abszorpciós leválasztási eljárást** alkalmazzák legelterjedtebben. Az elkülönített CO₂ tisztítás után további eljárásnak vethető alá, komprimálható, a folyékony vagy szuperkritikus állapot eléréséig. Az adszorbens regenerálásának hőigénye az erőműben képződő hulladékhőből elégíthető ki.

Az eljárás alkalmazása a füstgáz hűtését igényli. Széntüzelésnél szükséges a füstgáz kéntelenítése is. A technológia előnyösebben alkalmazható az abszorpciós folyamatot motiváló nagyobb koncentráció különbség esetén ezért a tüzelést a legmagasabb CO₂ tartalomnak megfelelően kell beállítani.

A fenti eljárás egy kipróbált, jól ismert technológiai lépcsőt tartalmaz, tekintettel a számos vegyipari referenciára gyakorlatilag kereskedelmi tételnek tekinthető. A térfogatáramok nagyságrendje miatt azonban 500 MW, vagy még nagyobb teljesítmény esetén történő alkalmazása jelentős adaptációs tevékenységet követel.

Az adszorpciós eljárást szintén elterjedten alkalmazzák más iparágak technológiáiban is. A folyamatban az ad- és deszorpciós fázisok ciklikus nyomás vagy hőmérsékletváltozás segítségével kerülnek megvalósításra. Adszorberként aktív szenet, zeolitokat, szilikagélt vagy karbon molekulaszűrőt alkalmaznak. Az erőműi alkalmazás esetében az alacsony (atmoszférikus) füstgáz nyomás és a viszonylag kis parciális nyomás a CO₂ eltávolításnak ezt a módját költségessé teszi. Az eljárás gazdaságossága javítható nagyobb hatékonyságú adszorbens, vagy oxigénben dúsított levegővel történő tüzelés alkalmazásával. Ugyanakkor ez a módszer eredményezi a legnagyobb CO₂ tisztaságot.

A **karbonizáló-kalcináló eljárás** új és már meglévő széntüzelésű erőművek esetében alkalmazható. A CO₂ elkülönítése magas hőmérsékleten történik, kalcium oxidnak, mint regenerálható adszorbensnek az alkalmazásával. A CaO részecskék atmoszférikus nyomáson és mintegy 650°C hőmérsékleten

reakcióba lépnek a füstgáz CO_2 molekuláival és kalcium karbonát képződik. A következő fázisban a CaCO_3 kalcinálására kerül sor egy 900°C feletti üzemi hőmérsékletű fluidágyas egységben. A felszabaduló CO_2 gázt a tárolóba továbbítják. A CO_2 leválasztás viszonylag magas kalcium-oxid tömegáram igénye biztosítja, hogy a folyamatban egyúttal a kén-dioxid is eltávolításra kerüljön.

Az anti-szublimációs eljárásban a gázfázisú széndioxidot $-78,5^\circ\text{C}$ alatti hőmérsékletre hűtött felület mentén áramoltatják. Ekkor az ún. hármasonthoz tartozó nyomásnál alacsonyabb érték esetén a CO_2 a gázfázisból közvetlenül szilárd fázisba vihető. A hűtési folyamatban jelentkező kondenzációs fázisban a kis mennyiségben előforduló egyéb szennyezők is eltávolításra kerülnek. A költségek további csökkentésének lehetősége a füstgáz kéntelenítő fázisnak az alacsony hőmérsékletű CO_2 eltávolítás folyamatába történő integrálása.

A membrán szeparációs eljárást elterjedten alkalmazzák magas nyomású és magas CO_2 koncentrációjú gázok esetében. Az erőműi füstgázoknál a viszonylag alacsony parciális nyomás nyilvánvalóan kisebb hajtóerőt képvisel a membrános szeparáció számára. Az eljárás az eddigiekben alkalmazott polimer alapanyagú membránok alkalmazása mellett emiatt nem éri el az egyéb (kémiai) leválasztási eljárásokkal biztosítható hatásfok értéket. Új típusú membrán fejlesztése válik szükségessé.

Az eltüzelést követő leválasztási eljárásnál a rendszer fő komponensei azonosak a leválasztás nélküli korszerű erőművek megfelelő egységeivel (égetőkamra, gőzkör, gázelőkészítő rendszer stb.). Nyilvánvalóan ez is oka annak, hogy a jelenleg már üzembe helyezett, vagy még befejezés előtt álló egységek többségénél ez az eljárás került megvalósításra.

Széndioxid leválasztás a tüzelési fázis előtt („pre-combustion” eljárás)

Az alatechnológia szén- és olajtüzelés esetén az ún. integrált elgázosító rendszerű kombinált ciklus (IGCC). A tüzelőanyagot egy elgázosító egységben $n < 1$ levegőtényezőnek megfelelő oxigénáram hozzávezetésével szintézis gázzá konvertálják. Hűtés, tisztítás és előkészítés után gázturbinával elektromos áramot állítanak elő. A turbinából kilépő magas hőmérsékletű füstgáz hőhasznosító kazánban adja le hőjét és az itt képződő gőz turbinán keresztül további mennyiségben generál elektromos áramot. A rendszer kiegészül egy levegő szétválasztó egységgel, amely az elgázosításhoz szükséges oxigént állítja elő. Az eljárás valamennyi fosszilis energiahordozó esetén alkalmazható.

Annak érdekében, hogy a fent bemutatott IGCC eljárás az emissziómentes erőműi technológiában is alkalmazható legyen, kiegészítő egységeket tartalmazó megvalósítás válik szükségessé (ZEIGCC eljárás). A meghatározó mértékben szén-monoxidot és hidrogént tartalmazó szintézisgáz katalizátorral töltött konverterbe áramlik. A készülékbe vízgőzt vezetnek és a vízgáz reakciónak megfelelően CO_2 - H_2O - H_2 keverék keletkezik. A maradék vízgőzt kondenzáltatással távolítják el. A CO_2 tartalmat az

előzőekben ismertetett eljárások alkalmazásával választják le, majd komprimálás után juttatják a tárolóba.

A folyamat energiahordozója a továbbiakban tehát a hidrogén. Ennek eltüzelése speciális égőt és tüzelőanyag ellátó rendszert igényel. Összehasonlítva más CO₂ eltávolítási technológiákkal a gázelegy viszonylag magas CO₂ tartalma biztosítja, hogy itt az ad- és deszorpciós fázisok kisebb méretekben, olcsóbban valósíthatók meg. A gazdaságosság meghatározó tényezője az alkalmazott levegő szétválasztás technológiája. Az elgázosító egységben vezetett primer tüzelőanyag fajtájától függően metanol, vagy más alapanyag is előállítható a ZEIGCC módszerrel.

Füstgáz visszakeringtetésű oxigén tüzelési technológia („oxifuel” eljárás)

Az eljárás lényege, hogy 95-99%-os oxigénnel történő tüzelés közel sztöchiometrikus feltételek mellett meghatározó mértékben CO₂-t és H₂O-t tartalmazó gázkeveréket eredményez. A nitrogén hiányából adódó alacsony térfogatáram miatt füstgáz recirkuláltatást alkalmaznak. A vízgőz mellett kis mértékben nitrogén, oxigén, nemesgázok, kén és nitrogén oxidok vannak jelen az égéstermékben. A füstgáznak a recirkulációs folyamatban részt nem vevő hányada tisztító és leválasztó eljáráson keresztül haladva a kondenzációs fázisba áramlik. A víz eltávolítása után a széndioxidot kompresszor juttatja a csővezetékrendszerbe vagy közvetlenül a tárolóba. Az eljárás egyaránt alkalmazható fosszilis tüzelőanyagok vagy biomassza esetében. A két másik technológiával szemben itt a végtermék hidrogén, amit az erőműi fogyasztástól függetlenül is lehet értékesíteni.

Az oxifuel CO₂ leválasztási módszer alkalmazása többlet energiaigényt jelent a levegő szétválasztó egység működtetése miatt, azonban a kémiai, vagy fizikai elven üzemelő ab(ad)szorbens regenerálásának hőszükséglete itt természetesen nem jelentkezik. A nitrogén hiányából adódóan az előző két technológiával összehasonlításban itt lényegesen kisebb készülék méretek szükségesek. Az oxifuel rendszer 90%-nál magasabb tisztasági fokú CO₂-t eredményez. Szennyezőanyagként oxigént, nitrogént, argont, nitrogénoxidokat, kenet tartalmaz. A gázáramot a savas kondenzáció elkerülése érdekében kifagyasztják. Ezáltal 99% körüli tisztaság is biztosítható. Az eljárás alkalmazásának feltétele egy integrált oxigén-előállító egység létrehozása. A kazánokat ugyanakkor alkalmassá kell tenni az oxigéntüzelésből adódó magasabb hőmérsékleten ill. a füstgáz recirkulációs rendszerben történő üzemeltetésre.

A CCS technológiák alkalmazásának jelenlegi helyzete

A légkör széndioxid tartalmának rohamos növekedése már a 20. század végén ráirányította a figyelmet a karbon leválasztási technológiák erőműi alkalmazásának szükségességére. Európában 1996-ban jelent meg az első demonstrációs berendezés Norvégiában az Északi-tengeri Sleipner gázmezőn. A létesítményben 9% CO₂ tartalmú földgázt tisztítanak. A „post combustion technology” jellegű eljárásban közel 1 mt/év széndioxid kerül földalatti tározóba [12]. Az ezredfordulót követően a figyelem egyre fokozottabban fordult a CCS technológiák felé. Ambiciózus tervek születtek. A CCS technológiák szükségességének tudatosításában és a stratégiai irányok megfogalmazásában jelentős szerepet vállalt a 2005-ben megalakult European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP).

Az elmúlt években a folyamat azonban lelassult. A gazdasági válság nyilvánvaló fékező hatása mellett ebben a magas beruházási költségek és a technológia terjedését gátló egyéb körülmények is közrejátszanak. Amíg korábban a század második évtizedének közepére prognosztizálták az ipari méretekben való terjedés kezdetét, ma már az előrejelzések 2020, egyes vélemények 2030 utáni időszakot jelölnék meg [16], [17].

A magas költségek ténye vitathatatlan. A demonstrációs projektek milliárd EUR nagyságrendű ráfordításokkal valósultak meg. Egy erőmű létesítési költségeit a CCS technológia alkalmazása 30-70%-kal növeli. A működtetési ráfordítások is 25-75%-kal magasabbak. Jelenlegi árakon számolva egy teljes CO₂ mentesítő láncolatot magában foglaló erőműi beruházás 500-1000 mEUR beruházási költséget igényel. Az ipari szféra ennek kiterjedt mértékű önálló finanszírozására nem képes. A potenciális beruházók helyzetét nehezítik a létesítéssel és üzemeltetéssel kapcsolatos kockázatok [18].

Az említett rizikófaktor az ipari méretű megvalósítások várható időszakának közeledésével fokozottan erősödik. Az ellenzők a tárolási kapacitások hiányára, a földalatti tárolás esetleges szeizmikus következményeire, a hatásfok csökkenésre, a villamos energiára gyakorolt árnövelő hatásra hivatkoznak. Egyes vélemények szerint túl késő van ahhoz, hogy ezek a technológiák érdemi eredményhez vezessenek [19]. Felmerül az abszorbens folyadékok (aminok) rákkeltő hatása is. Helyenként a lakossági ellenérzés a nukleáris erőműveknél tapasztalt mértéket is meghaladja [20]. Olaszországban tanulmány készült a CO₂ tárolással mint veszélyforrással kapcsolatban. Eszerint ennek kockázati tényezője nagyságrendekkel kisebb, mint pl. a gépkocsival történő közlekedésnek, a háztartásokban előforduló CO mérgezésnek, vagy a villámcsapásnak [21].

A megvalósításra vonatkozó szándékokat nyilván kedvezőtlenül érintette a német szövetségi kormánynek a CO₂ tárolására vonatkozó elutasító döntése. Az RWE AG emiatt Hürth-ben létesítendő berendezésének munkáit leállítani kényszerült [22]. Az esemény annál is sajnálatosabb, mivel az ipari

méretű berendezés lignit elgázításán alapuló (pre-combustion) technológiával készült. A világon jelenleg üzemelő négy ipari méretű CCS technológiájú erőműből hármat földgázzal működtetnek [23], és a Hürth-i megvalósítás jó referenciája lett volna egy összetettebb műszaki feladatot képviselő szénbázisú rendszernek. A technológia elterjedését szabályozó és elősegítő feltételrendszer létrehozásának szükségességét példázza az angliai Department of Energy and Climate (DECC) szervezet állásfoglalása [24]. Ebben törvényi háttér megalkotását, a CO₂ tárolására vonatkozó stratégia kialakítását, a megfelelően képzett személyi állomány rendelkezésre állását és a széndioxid szállítás és tárolás helyszíni infrastruktúrájának kialakításához szükséges koncepciók kialakítását jelölték meg feladatként.

A fenti problémák ellenére a már korábban létesített üzemelő berendezések mellett számos új egységet helyeztek üzembe vagy megvalósításuk befejezés előtt áll. Demonstrációs projekt jelleggel a Shell, a GE és a Conoco Philips összesen négy üzemében működik elgázosító technológia. A GE és a Conoco Philips primer tüzelőanyagként iszapot, más technológiák száraz primer energiahordozót használnak. Lignit alkalmazása esetén az ún. magas hőmérsékletű Winkler elgázosító eljárás (HTW) is alkalmazható, mint nem túl magas hőmérsékleten (900°C) megvalósított fluidizációs eljárási technológia. A magas hőmérsékletű füstgáz hőtartalma hőcserélőkben ill. gőzfejlesztési folyamatban hasznosítható [12].

Az abszorpciós széndioxid eltávolítás új lehetőségének demonstrációs projektje lépett a megvalósulás fázisába. A Melbourn-i Egyetem által kifejlesztett technológiában a mosófolyadék a szódabikarbónához (NaHCO₃) hasonló vegyi anyag vizes oldata. Alkalmazásával a CO₂ mosás üzemeltetési költségeinek jelentős csökkenését várják [25]. A Brisbane-i CS Energy Limited Társaság egy 30MW teljesítményű kazánon alkalmazza az „oxifuel” leválasztási technológiát 2008-tól kezdődően. Ugyancsak Ausztráliában a Queensland-i 700MW teljesítményű széntüzelésű erőműben valósítottak meg CCS technológiát [26].

Az Alstom Power Társaság a CO₂ eltávolítását a hagyományos ammónia abszorbenssel végzi. A technológia továbbfejlesztéseként dolgozták ki a hűtött ammóniamosási eljárást, ahol a füstgázt harmatpont alá hűtve kerül sor az abszorpcióra. Az abszorbens regenerálása magas nyomáson és emelt hőmérsékleten történik. Az ammónia veszteség minimalizálását az ab- és deszorpciós hőmérsékletek optimalizált beállításával biztosítják. Jelenleg 13 referencia berendezést működtetnek ill. készítenek elő 2015-ig történő üzembe helyezésre. Az erőművek sorában gáz, olaj és lignit üzemű egységek találhatóak. Három berendezésben „oxifuel”, a többiben „post-combustion” technológiát valósítottak meg. A tárolt CO₂ mennyisége meghaladja az 5 mt/év mennyiséget [27]. „Oxifuel” technológiát valósítottak meg a német Schwarze Pumpe cég által készített Svédországban üzemelő 30 MW teljesítményű egységében és a Total energia társaságnak a franciaországi Lacq-ban földgázzal üzemeltetett berendezésében is. [28].

Az Egyesült Államokban a Nyugat-Virginiai New Havenben 2009-ben helyeztek üzembe kísérleti projekt jelleggel szénbázisú erőműhöz illesztett széndioxid leválasztó rendszert. A CO₂ eltávolítása az Alstom által szabadalmaztatott hideg ammóniamosó eljárással történt. A kísérleti üzem célja a technológiának széntüzelés melletti alkalmassági vizsgálata. 6500 üzemóra után a kísérletet sikeresnek minősítve a berendezést üzemben kívülre helyezték [29]. Ugyancsak az Egyesült Államokban Illionis államban tervezik 2013-ban egy új 716 MW teljesítményű IGCC (pre-combustion) rendszer üzembe állítását. A berendezés a keletkezett széndioxid 65%-nak leválasztására alkalmas és évi 2 millió tonna CO₂-t juttat tárolóba. A beruházás 3,5 milliárd dollár költség ráfordítással valósul meg [30].

A norvégiai Mongstad-ban 2012 májusában adták át egy gázüzemű erőmű és olajfinomító komplexum együttes CO₂ kibocsátás 85%-nak leválasztására alkalmas CCS rendszert [31]. A beruházás mintegy 1 Mrd EUR ráfordítással valósult meg. A létesítményrendszer fényképét a 2. sz. ábra mutatja be.

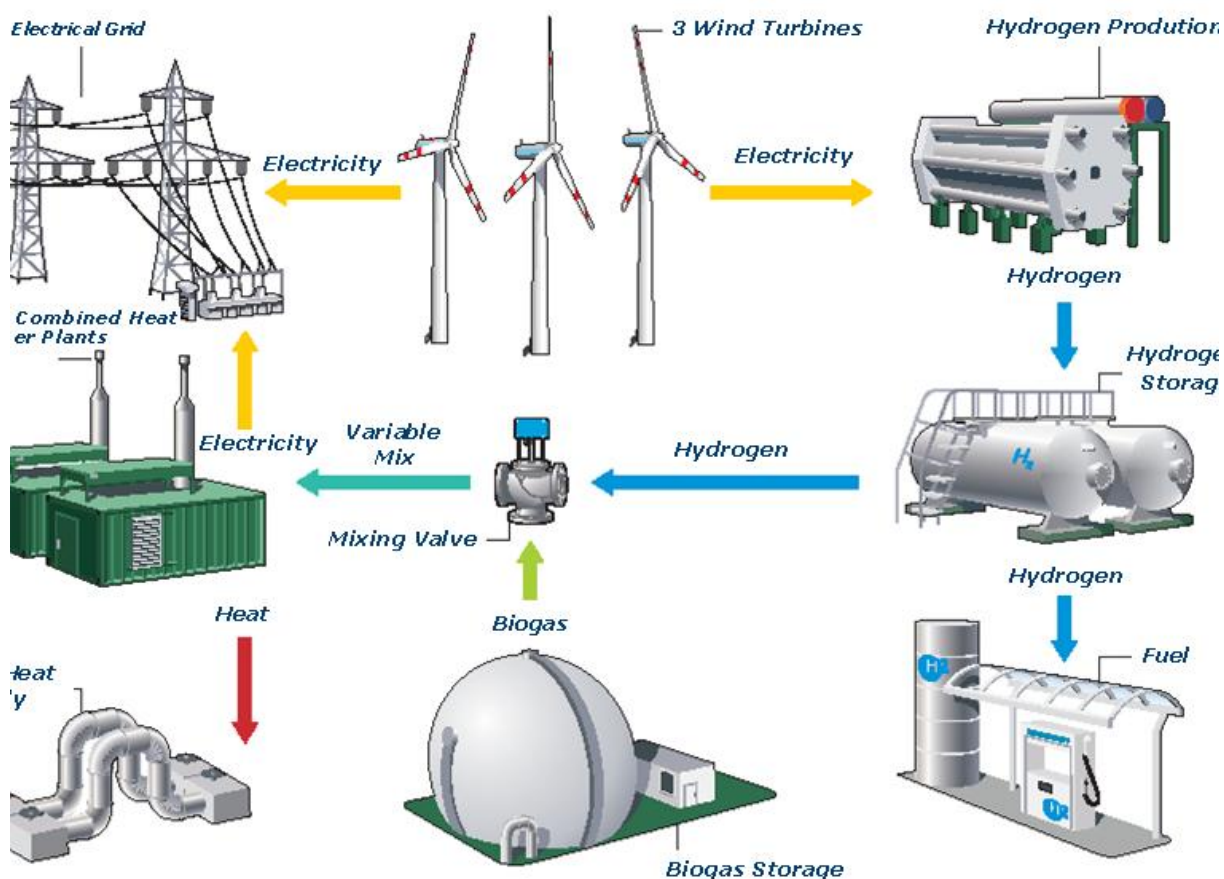
A 280 MW teljesítményű CHP erőmű füstgáza átlagosan 3,5%, a finomítóból kilépő égéstermék 13% széndioxidot tartalmaz. A CCS egységet a meglévő rendszerekhez illesztették („post-combustion” technológia). A CO₂ eltávolítása ammóniás ill. aminos mosással történik. Ez a megoldás teszi lehetővé a jelenleg 100 000t/év széndioxid kapacitással üzemelő rendszerben a két abszorbens anyag összehasonlítását. A várható hatásfok csökkenés a teljes erőműre vetítve mintegy 8%. Tervek szerint ugyancsak Mongstadban a Siemens által kidolgozott új típusú mosófolyadékra alapozott technológiát helyeznek üzembe, ami ennek értékét felére csökkenti.



2. sz. ábra A Mongsad-i erőmű és finomító

A bemutatott példák érzékeltetik, hogy számos referencia berendezés működik bizonyítva a CCS technológiák alkalmazhatóságát bármely fosszilis energiahordozó bázison működtetett erőmű esetében. A jelenleg a széndioxid tárolókba juttatott mennyiség azonban mindössze kb. 32 mt/év [32], az erőművek által kibocsátott mintegy 12 Mrd tonnának valamivel több, mint 2,5 ezreléke. A fenti arány és a gyakran elhúzódo beruházási folyamat arra figyelmeztet, hogy nem megalapozatlanok a piaci elterjedést csak 2020 utánra prognosztizált vélemények. Kétségtelen, hogy a korábban részletezett nem műszaki jellegű gátló tényezők szerepe jelentős. A technológia piacképessége azonban megköveteli mind a megvalósítási költségeknek, mind az erőművek hatásfok csökkenésének mérséklését.

A CO₂ mentes villamos energia termelésnek egy új technológiáját helyezték üzembe 2011-ben németországi Uckermark-ban [33]. A rendszer elemeit a 3. sz. ábra szemlélteti. A működés lényegét a termikus és szélenergia kombinációja jelenti.



Forrás: Németországban átadták a világ első hidrogén-hibrid erőművét

3. ábra Az Uckermark-i hidrogén hibrid erőmű

A 3 db egyenként 2 MW teljesítményű szélturbina elektrolízis elvén üzemelő vízbontó berendezést működtet óránként 120 m³ 99,997% tisztaságú hidrogént és 60 m³ oxigént állítva elő. A hidrogén jelenti a termikus erőmű tüzelőanyag bázisát. A villamos energiát két db egyenként 350 kW névleges teljesítményű CHP egység termeli. A hidrogénhez legkevesebb 30% biogázt adagolnak. Az arány a szélerergia bizonytalansága miatt 100% biogáz betáplálásig változtatható. A termelt hidrogén önállóan is értékesíthető.

A megoldás egyesíti a megújuló energiaforrások felhasználásából adódó környezetbarát működésnek és a CHP rendszerben történő termikus villamos energia előállítás kedvező hatásfokának előnyeit. A megújuló energiaforrással működtetett ipari méretű vízbontási eljárás – hasonlóan a szén energiáját hidrogén üzemanyaggá konvertáló „pre-combustion” technológiához – már az energiaforrás prognózisokban megjelenő „hidrogén korszak”-hoz kapcsolódik.

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió rész támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Összefoglalás

A publikáció a fosszilis tüzelésű erőművekből kibocsátott széndioxid jelenlegi és prognosztizált jövőbeni mennyiségének bemutatásával az emisszió csökkentés fontosságát hangsúlyozza. Az előrejelzések szerint a karbon tartalmú tüzelőanyagok mennyisége a jövőben sem csökken, ami elkerülhetlenné teszi a széndioxid leválasztó technológiák alkalmazását.

Az anyag bemutatja a referencia berendezésekkel rendelkező CO₂ leválasztási eljárásokat. Ismerteti ezek alkalmazásának jelenlegi helyzetét érzékeltetve a bevezetés elterjedésének piaci korlátait.

Hivatkozások

1. [CO2 Emissions from Fuel Combustion - 2011 Highlights](#)
2. [Rekordot döntött tavaly a széndioxid kibocsátás - Piac & Profit](#)
3. [Specific Carbon Dioxide Emissions of Various Fuels](#)
4. [Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment](#)
5. [Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options](#)
6. [Carbon Emissions of Different Fuels/Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment](#)
7. [Európai Közösség - Energetikai kutatások - Clean coal/CCS](#) - The Current State and Future Prospects of CCS.
8. [Power Choices 2050 - Eurelectric](#)
9. [NEMZETI ENERGIASZTRATÉGIA](#)

10. [ZEP Statement on EU Energy Roadmap 2050 »](#)
11. [ZEP Statement on COP17/CMP7 »](#)
12. Power Plant and Carbon Dioxide Capture. Készítette a Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP) Brüsszel 2006
13. [ZEP - Reducing CO2 Emissions through CCS/Technology/Capture](#)
14. Tihanyi L. Csete J. [A CO₂ lánc – CO₂ leválasztása, szállítása és tárolása .](#)
15. [TARTALOM - Dunaferr](#) Karbontartalmú energiahordozók CO₂ kibocsátás mentes erőműi felhasználása. ISD DUNAFERR Műszaki Gazdasági Közlemények 2008/1
16. [Energiapolitikai Füzetek](#)
17. [2030-ra terjedhet el a CO₂ megkötése? | 2008.09.25 | Bruxinfo Portál](#)
18. [Clean coal/CCS - The current state and future prospects of CCS.](#)
19. [FS CO2-freie Kraftwerke final](#)
20. [Carbon Capture Fights its Corner](#)
21. [Assessing the Health Risks of Natural CO₂ Seeps in Italy »](#)
22. [RWE AG - IGCC/CCS Power Plant](#)
23. [CCS Technology Offers Opportunity for Reducing CO2 Emissions in the ...](#)
24. [Carbon Capture and Storage - Department of Energy and Climate ...](#)
25. [University of Melbourne Commissions Carbon Capture Mini-Plant](#)
26. [Queensland's Callide Power Plant Now Firing With Retrofitted CCS](#)
27. [Alstom Power Study Demonstrates Carbon Capture and Storage \(CCS\)](#)
28. [ZEP - Reducing CO2 emissions through CCS](#)
29. [Carbon Capture & Storage](#)
30. [CCS Technologies to Capture 65% and 90% of CO2 Emissions at ..](#)
31. [Promising Carbon-Capture Facility Launched in Norway despite...](#)
32. [CCS Technologies. - World Coal Association](#)
33. [Németországban átadták a világ első hidrogén-hibrid erőművet](#)